МИНОБРНАУКИ РОССИИ

# ИЗВЕСТИЯ

## Юго-Западного государственного университета

№ 4 (43)
2012

## Часть 2

Курск

**ИЗВЕСТИЯ**

ЮГО-ЗАПАДНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

**2012. № 4 (43) Часть 2**
**Научный рецензируемый журнал**

**Основан в 1997 г.**

*Выходит один раз в два месяца*

**Учредитель: ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (ПИ №ФС77-42691 от 16.11.10).

**Журнал «Известия Юго-Западного государственного университета» включен в перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК РФ**

**Редакционный совет**

**С.Г.Емельянов** (председатель, главный редактор), д-р техн.наук, профессор, ректор ЮЗГУ;
**Л.М. Червяков** (зам. председателя), д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ;
**Е.А.Кудряшов** (зам. председателя), д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ.

**В.И.Андреев**, д-р техн.наук, профессор, МГСУ, г.Москва; И.А. **Асеева,** д-р филос. наук, доцент, ЮЗГУ; **О.И.Атакищев**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ; **Р.К.Боженкова**, д-р филол.наук, профессор, ЮЗГУ; **Ю.В. Вертакова**, д-р экон. наук, профессор, ЮЗГУ; **В.Н.Гридин**, д-р техн.наук, профессор, ЦИТП РАН, Москва; **С.В.Дегтярев**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ; **Л.В. Димитров**, профессор, доктор, технический университет, София; **В.Э.Дрейзин**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ; **И.А.Каляев**, чл.корр.РАН, д-р техн.наук, профессор, НИИ МВС РАН, Таганрог; **А.Ф.Каперко**, д-р техн.наук, профессор, МГИЭиМ, Москва; **В.И. Колчунов**, академик РААСН, д-р техн. наук, профессор, ОрелГТУ; **Н.А.Кореневский**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ; **П.Ф.Кравчук**, д-р философ.наук, профессор, ЮЗГУ; **А.П.Кузьменко**, д-р физ.-мат.наук, профессор, ЮЗГУ; **Ю.Н.Кульчин**, чл.-корр.РАН, д-р физ-мат.наук,профессор, ИАиПУ РАН, Владивосток; **Д.А.Новиков**, чл.-корр.РАН, д-р техн.наук, профессор, ИПУ РАН, Москва; **А.В.Олейник**, д-р техн.наук, профессор, департамент Минтранс РФ, Москва; **В.Н.Опарин**, чл.корр.РАН, д-р физ-мат.наук, профессор, ИГД РАН, Новосибирск; **А.В.Островский**, д-р экон.наук, профессор, ИДВ РАН, Москва; **В.И.Римшин**, чл.-корр. РААСН, д-р техн.наук, профессор, МГАКХ, Москва; **Г.В.Секесов**, д-р техн.наук, профессор, ИГД РАН, Хабаровск; **В.Н.Сусликов**, д-р юр.наук, профессор, ЮЗГУ; **М.Л.Титаренко**, ак.РАН, д-р философ.наук, профессор, ИДВ РАН, Москва; **В.С.Титов**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ; (отв.секретарь); **В.С. Федоров**, акад. РААСН, д-р техн.наук, профессор, Московский гос. ун-т путей сообщения; **А.С.Ястребов**, д-р техн.наук, профессор, СПГУТ, Санкт-Петербург; **С.Ф.Яцун**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ.

# СОДЕРЖАНИЕ

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ..... 11**

**Информатика, вычислительная техника и управление ..11**

*Хла Вин, Шевелев С.С., Добрица В.П.*
Вычислители арифметических операций на нейронах ..... 11

*Михайлов С.Н., Тезик К.А.*
Вариант программной реализации способа тематической кластеризации текстовых документов на основе использования макросов VBA и Excel ..... 17

*Николаев В.Н., Ткаченко А.В., Ткаченко К.А.*
Модели оценки конкурентных позиций вуза в условиях использования инновационных образовательных технологий ..... 21

*Серебровский В.В., Полянский А.В.*
Использование простых моделей для прогнозирования температурной зависимости показателя преломления жидкости ..... 27

*Шевелев С.С.*
Устройство параллельного поиска и замены вхождений в обрабатываемых словах ..... 32

*Кониченко А.В., Дедов С.В.*
Анализ методов создания цифровых моделей рельефа в интересах обеспечения органов управления силами и средствами ГО и ЧС ..... 36

*Локтионов А.П.*
Определение замыкания в трёхфазной кабельной электрической сети со ступенчаторегулируемым реактором ..... 40

*Томакова Р.А., Филист С.А., Яа Зар До*
Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных ..... 44

*Ефремов В.В., Ефремова И.Н., Серебровский В.В.*
Системы продукций для сжатия символьной информации ... 50

*Титенко Е.А., Крипачев А.В., Тутов Е.Б., Скорняков К.С., Цуканов К.С.*
Аппаратно-ориентированный способ безотступной модификации данных для продукционных систем ..... 52

**Редакционная коллегия:**

Главный редактор
**С.Г. Емельянов**, д-р техн.наук, профессор

Зам. главного редактора
**Л.М. Червяков**, д-р техн.наук, профессор

Зам. главного редактора
**Е.А. Кудряшов**, д-р техн.наук, профессор

Отв. секретарь
**В.С. Титов**, д-р техн.наук, профессор

**Члены редколлегии:**

**Боженкова Р.К.**, д-р филол.наук, профессор
**Вертакова Ю.В.**, д-р экон.наук, профессор
**Ивахненко А.Г.**, д-р техн.наук, профессор
**Кравчук П.Ф.**, д-р философ. наук, профессор
**Крыгина А.М.**, канд. техн. наук, доцент
**Кузьменко А.П.**, д-р физ.-мат. наук, профессор
**Минакова И.В.**, д-р экон. наук, доцент
**Пашин В.П.**, д-р ист.наук, профессор
**Сусликов В.Н.**, д-р юр. наук, профессор
**Харзеева С.Э.**, д-р пед. наук, профессор
**Яцун С.Ф.**, д-р техн. наук, профессор

**Адрес редакции:** 305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.
Телефоны: (4712) 50-48-19
Факс: (4712) 50-48-00. E-mail: rio_kursk@mail.ru

Оригинал-макет подготовлен Е.В. Мельник

Подписано в печать 27.08.12 Формат 60x84/8.
Бумага офсетная. Усл.печ.л. 29,0.
Тираж 1000 экз. Заказ 89. Цена свободная.
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.

**Плата с аспирантов за публикацию не взимается.**

**Подписной индекс журнала «Известия Юго-Западного государственного университета» 44282. 41219 в объединенном каталоге «Пресса России»**

*Петров С.В., Серегин С.П., Кузьмин А.А., Кузьмина М.Н.*
Исследование цитокинового статуса при лечении серозного пиелонефрита во время беременности для систем поддержки принятия решений ..... 56

*Буторин В.М., Дрейзин В.Э., Свиридов В.В.*
Акустические волны в трубе с потоком ..... 60

*Свиридов В.В.*
Практика разработки систем математического моделирования методом конечных элементов на примере плоской задачи теплопроводности ..... 67

*Белов А.В.*
Формирование классификатора с нечеткими границами на основании кривых, заполняющих дискретное признаковое пространство ..... 71

*Титенко Е.А., Титов В.С., Коновальчик А.П.*
Высокопроизводительные вычислительные системы на основе ПЛИС ..... 73

*Пиккиев В.А., Самбуров С.Н., Богомазов Р.Ю., Луценко А.А.*
Приемо-передающая система малого космического аппарата «КЕДР» ..... 78

*Тютюнов Д.Н., Бойцова Е.А., Бойцов А.В.*
Интегрируем по частям ..... 81

*Белов А.В., Белова Т.М.*
Способы хранения растровых данных на основе квадродеревьев в системах поддержки принятия решений .. 84

*Еськов В.С., Добрица В.П.*
Решение проблемы восстановления межсоединений активных внутренних ресурсов плис с использованием модифицированного волнового алгоритма ..... 87

*Еськов В.С., Миргалеев А.Т., Добрица В.П.*
Сравнение методов инженерного анализа программируемых элементов ПЛИС ..... 91

*Лисицин Л.А., Халин Ю.А., Лисицин А.Л.*
Системы поддержки принятия управленческих решений в условиях неполной информации ..... 95

*Мельник Е.В.*
Процедурная генерация трехмерных текстур для компьютерного моделирования 3D-объектов ..... 100

*Лисицин Л.А., Халин Ю.А., Ефанова Н.С.*
Структурно-функциональная организация системы информационной поддержки оценки конкурентоспособности ..... 103

*Пиккиев В.А., Самбуров С.Н., Богомазов Р.Ю., Луценко А.А.*
Анализ работы фотокамер малого космического аппарата «КЕДР» .....107

**Машиностроение ..... 109**

*Сергеев С.А., Дмитракова Т.В., Фомина К.Н.*
Проектирование зуборезного инструмента и звездочек цепных муфт ..... 109

*Горлов А.Н., Ларин О.М., Чернышева Д.В.*
Современное состояние систем управления энергопотреблением на промышленном предприятии ..... 113

*Разумов М.С., Гладышкин А.О., Кассихин В.Н., Гречухин А.Н.*
Математическая модель определения частоты вращения шпинделя станка при точении профильных валов с использованием планетарного механизма .....117

*Аникеева О.В., Ивахненко А.Г., Куц В.В.*
Управление качеством этапа планирования процесса ремонта металлорежущих станков .....120

*Сергеев С.А., Дмитракова Т.В.*
Рекомендации по изготовлению, монтажу и эксплуатации цепных муфт ..... 127

*Кассихин В.Н., Гладышкин А.О., Разумов М.С., Чевычелов С.А.*
Разработка технологии обработки профиля колес железнодорожного транспорта при их восстановлении ..... 134

*Жеребцов С.Н., Чумак-Жунь Д.А., Пугачева Н.А., Червяков Л.М.*
Получение отливок из стали 12Х18Н10Т методом электрошлакового литья .....140

**Строительство …….. 146**

*Умеренков Е.В., Котенко Э.В.*
Тепловой расчет кожухотрубного аккумулятора тепла на фазовом переходе на основе квазистационарного приближения ..... 146

*Ступишин Л.Ю., Колесников А.Г.*
Исследование оптимальных форм ортотропных пологих геометрически нелинейных оболочек ..... 151

*Битюков В.А., Красных П.А.*
Определение основных гидродинамических параметров и механических характеристик эластичных трубопроводов .. 153

*Кобелев Н.С., Алябьева Т.В., Кобелев В.Н., Дюмин А.С.*
Методика расчёта устройства комплексной очистки вентиляционного воздуха для влажных помещений ..... 158

*Щедрина Г.Г., Гнездилова О.А., Пауков В.М.*
Проблемы интенсификации тепломассообмена в регенеративных абсорбционных теплообменниках ..... 163

*Акульшин А.А., Петреченко В.П., Акульшин А.А., Шалай И.С.*
Анализ методов расчета струйных насосов ..... 166

*Кобелев Н.С., Алябьева Т.В., Катунин С.В., Аксёнова Т.И.*
Использование композиционного материала для повышения комфортности кабины транспортного средства ..... 170

**Безопасность жизнедеятельности ..... 173**

*Попов В.М., Юшин В.В., Камардин М.А.*
Анализ методов, схем оценки профессиональных рисков .....173

*Томаков М.В.*
Построение эффективной системы управления охраной труда и промышленной безопасностью корпорации в рамках системного подхода ..... 177

*Шульга Л.В., Попов В.М., Балдыч А.А., Юшин В.В., Протасов В.В., Барков А.Н.*
Физиологические основы разработки системы активного теплосъема для комплекса средств индивидуальной защиты ..... 181

**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ ..... 185**

*Пожидаева С.Д., Елисеева А.Ю., Иванов А.М.*
Коррозионное поражение меди в водном растворе сульфата меди (II) в присутствии молекулярного йода ..... 185

*Емельянов С.Г., Миргород Ю.А., Федосюк В.М.*
Исследование структуры и магнитных свойств мелкого порошка шунгитового минерала в зависимости от нагревания ..... 191

*Пожидаева С.Д., Иванов А.М., Сотникова Д.А., Елисеева А.Ю.*
Циклические макростадии в механизмах окисления металлов в кислых средах в присутствии металлсодержащих и иных окислителей ..... 196

*Ниязи Ф.Ф., Кувардин Н.В., Фатьянова Е.А.*
Исследование некоторых физико-химических свойств водных и спиртовых растворов парацетамола широкого концентрационного интервала .....203

*Миргород Ю.А., Хорьякова Н.М.*
Комбинационное рассеяние света в бутане, декане, здоровой и раковой тканях человека ..... 210

*Агеева Е.В., Сотникова Д.А., Иванов А.М.*
Особенности катализа жидкофазного окисления гидросульфита натрия солями переходных металлов .....214

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ ..... 218**

**Механика ..... 218**

*Кувардина Е.М., Локтионова О.Г.*
Влияние физического состояния материала мембран на производительность процессов виброультрафильтрации многокомпонентных растворов ..... 218

*Яцун С.Ф., Савин С.И., Тарасов О.С.*
Испытательный стенд для изучения динамики робота для перемещения по трубам ..... 221

*Сафаров Д.И., Емельянова О.В., Локтионова О.Г.*
Моделирование процесса движения частицы загрязнений в потоке жидкости ..... 225

*Яцун С.Ф., Политов Е.Н., Гапонов Ю.А.*
Прибор для определения реологических свойств жидкостей .....227

**Физика ..... 232**

*Кузьменко А.П., Леоненко Н.А., Рассказов И.Ю., Храпов И.В.*
Лазерная обработка минерального
сырья Курской области ..... 232

*Полунин В.М., Стороженко А.М., Танцюра А.О.*
Магнитогранулометрический и акустогранулометрический
анализ нанодисперсной фазы
сильноконцентрированной магнитной жидкости ..... 236

*Кузько А.Е., Кузько А.В., Харсеев В.А.*
Разработка и тестирование установки по исследованию
электроконвективного теплообмена ..... 241

*Родионов А.А., Л.П. Петрова, Н.М. Игнатенко,*
*В.Н. Бурмистров*
О внутреннем трении в антиферромагнетиках
в области линейного отклика ..... 246

**К сведению авторов ..... 250**

**© Юго-Западный государственный университет, 2012**

2012. № 4 (43) Part 2
Scientific journal

*Published once per two months*

# PROCEEDINGS

of the SOUTHWEST
STATE
UNIVERSITY

# CONTENT

**TECHNICAL SCIENCES .....11**

**Informatics .....11**

*Hla Win, Shevelev S.S., Dobritsa V.P.*
Evaluators Arithmetical Operation on Neuron ..... 11

*Mikhaylov S. N., Tezik K.A.*
Option of Program Realization of the Way Tematichesa
of the Clustering of Text Documents on the Basis of Use
of Macroes of VBA and Excel .....17

*Nikolaev V.N., Tkachenko A.V., Tkachenko K.A.*
Models of an Estimation of Competitive Positions of High School
in Conditions of Use of Innovative Educational Technologies .... 21

*Serebrovskii V.V., Polyansky A.V.*
The Use of Simple Models to Predict the Temperature
Dependence of the Refractive Index Fluid ..... 27

*Shevelev S.S.*
Device of Parallel Searching for and Change the Entering
in Processed Word ..... 32

*Konichenko A.V., Dedov S.V.*
The Analysis of Methods of Creation of Digital Terrain Models
in Interests of Providing Governing Bodies Forces
and Means of Civil Defence and Emergencies ..... 36

*Loktionov A.P.*
Detection Short Circuit the Electrical Cable Network
with a Stepped Adjustable Reactor ..... 40

*Томакова R.A., Filist S.A., Yaa Zar Do*
Universal Network Models for Classification
of Biomedical Data ..... 44

*Efremov V.V., Efremova I.N., Serebrovsky V.V.*
Production System for Compression of Information .....50

*Titenko E.A., Kripachev A.V., Tutov E.B., Skornyakov K.S.,
Tchukanov K.S.*
Hardware-Oriented Method of Data Modification Without
Backtracking for Production Systems .....52

*Petrov S.V., Seregin S.P., Kuzmin A.A., Kuzmina M.N.*
The Study of Cytokine Status in the Treatment of Serous
Pyelonephritis During Pregnancy to Decision Support Systems .56

*Butorin V.M., Drejzin V.E., Sviridov V.V.*
acoustic Waves in the Pipe with the Stream ..... 60

*Sviridov V.V.*
The Practice of Developing a System of Mathematical Simulations Using the Finite Element Example of the Plane Problem for the Heat ..... 67

*Belov A.V.*
Qualifier Formation with Fuzzy Borders on the Basis of the Curves Filling Discrete Attribute Space ..... 71

*Titov V.S., Konovalchik A.P.,*
High Performance Computing Systemson the Basis off PGA ..... 73

*Pikkiev V.A., Samburov S.N., Bogomazov R.Y., Lutsenko A.A.*
Receiving and Transmitting System of Small Spacecraft "Kedr" ..... 78

*Tyutyunov D.N., Boytsova E.A., Boytsov A.V.*
Integrate by Parts ..... 81

*Belov A.V., Belov T.M.*
Approaches Storage of the Raster Data on a Basis of Quadtrees in Decision Support System ..... 84

*Eskov V.S., Dobritsa V.P.*
The Decision of a Problem of Restoration of Interconnections of Active Internal Resources FPGA with Use of The Modified Wave Algorithm ..... 87

*Eskov V.S., Mirgaleev A.T., Dobritsa V.P.*
Comparison of Methods of the Engineering Analysis of Programmed Elements FPGA ..... 91

*Lisitsyn L.A., Halin Yu.A., Lisitsyn A.L.*
Systems of Support of Adoption of Administrative Decisions in the Conditions Of Incomplete Information ..... 95

*Melnik E.V.*
Procedural Generation of Textures for Computer Modelling of 3D-Objects ..... 100

*Lisitsyn L.A., Halin Yu.A., Efanova N.S.*
Structurally Functional Organization of System of Information Support of the Assessment of Competitiveness ..... 103

*Pikkiev V.A., Samburov S.N., Bogomazov R.Y., Lutsenko A.A.*
Analysis of the Camera Small Spacecraft "Cedar" ..... 107

**Mechanical Engineering .....109**

*Sergeev S.A., Dmitrakova T.V., Fomina K.N.*
Designing OF Cutting Tools and Sprocket Chain Coupling .....109

*Gorlov A.N., Larin O.M., Chernysheva D.V.*
Present State of Energy Management Systems at Industrial Enterprises .....113

*Razumov M.S., A.O. Gladyshkin, V.N. Kassihin, A.N. Grechyhin*
The Mathematical Model for Determining the Speed of Machine Spindle for Turning Stile Shaft Using Planetary Gear ..... 117

*Anikeeva O.V., Ivakhnenko A.G., Kuts V.V.*
Quality Management of a Repair Process Planning Stage of Metal-Cutting Machine Tools .....120

*Sergeev S.A., Dmitrakova T.V.*
Guidelines for the Construction, Installation and Operation of Chain Coupling .....127

*Kassihin V.N., Gladyshkin A.O., Razumov M.S., Chevychelov S.A.*
Development of Cutting Technology Rail Wheels During Recovery .....134

*Zherebtcov S.N., Chumak-Zhun D.A., Pugatcheva N.A., Chervyakov L.N.*
Receiving from Steel 12х18н10т the Method of Electroslag Moulding ..... 140

**Civil Engineering** ..... 146

*Umerenkov Ye.V., Kotenko E.V.*
The Heat Calculation for Shell-and-Tube Heat Battery During Phase Change on the Basis of Quasi-Stationary Approximation ..... 146

*Stupishin L.U., Kolesnikov A.G.*
Optimum Forms of Orthotropic Geometric Nonlinear Shallow Shells Examination ..... 151

*Bitjukov V.A., Krasnych P.A.*
The Definition of the Elasticity Pipelines Primary Hydrodynamic Parameters and Mechanical Properties ..... 153

*Kobelev N.S., Alyabeva T.V., Kobelev V.N., Dyumin A.S.*
Calculation Device Integrated Cleaning Ventilation Air for Wet Rooms ..... 158

*Schedrina G.G., Gnezdilova O.A., Paukov V.M.*
Problem of Intensification of Heat and Mass Transfer in Regenerative Heat Exchanger Absorption ..... 163

*Akulshin A.A., Petrechenko V.P., Akulshin A.A., Shalay I.S.*
Analysis of Methods of Calculation of Jet Pumps ..... 166

*Kobelev N.S., Alyabeva T.V., Katunin S.V., Aksenova T.I.*
Use of the Composite Material for Increase of Comfort of the Cabin of the Vehicle ..... 170

**Envirounmental Sciences** ..... 173

*Popov V.M., Yushin V.V., Kamardin M.A.*
Analysis Methods, Professional Risk Assessment Schemes .... 173

*Tomakov M.V.*
Improvement of the Control System for Labour Protection and Industrial Safety of the Corporation ..... 177

*Shulga L.V., Popov V.M., Baldih A.A., Yushin V.V., Protasov V.V., Barkov A.N.*
Physiological Bases of Development of the System of Active Teplosjem for the Complex of Means of Individual Protection .. 181

**CHEMISTRY** ..... **185**

*Pozhidaeva S.D., Eliseeva A. Yu., Ivanov A.M.*
The corrosion destruction of copper in the water solution of sulphate of copper (II) in the presence of molecular iodine ..... 185

*Emelyanov S.G., Mirgorod Y.A., Fedosyuk V.M.*
Study of Structure and Magnetic Properties of a Fine Powder Mineral Shungite Depending on Heating ..... 191

*Pozhidaeva S.D., Ivanov A.M., Sotnikova D.A., Eliseeva A. Yu.*
Cyclic Macrostages In the Mechanisms of the Oxidation of the Metals in the Acid Environments In The Presence of the Metallcontaining and Other Oxidizers ..... 196

*Niyazy F.F., Kuvardin N.V., Fatyanova E.A.*
Study of Some Physical and Chemical Properties Water and Alcohol Solutions Paracetamol Wide Concentration Range ..... 203

*Mirgorod Y.A., Khoryakova N.M.*
Raman Scattering of Light of Butane, Decane, Healthy and Cancer Human Tissues ..... 210

*Ageeva Y.V., Sotnikova D.A., Ivanov A.M.*
Features of Catalysis of Liquidphase Oxidation of Sulfite Sodium Salts of Transition Metals ..... 214

**PHISICS-MATHEMATICAL SCIENCES ..... 218**

**Mechanics ..... 218**

*Kuvardina E.M., Loktionova O.G.*
The Influence of the Physical State of the Membrane Material on the Process Performance Vibroultrafiltratsii Multicomponent Solutions ..... 218

*Jatsun S.F., Savin S.I., Tarasov O.S.*
Testing Stand for Studying of the Dynamics of a In-Pipe Inspection Robot ..... 221

*Safarov D.I., Emelianova O.V., Loktionova O.G.*
Modelling of Process of Movement of the Particle of Pollution in the Liquid Stream ..... 225

*Jatsun S.F., Politov E.N., Gaponov Y.A.*
The Device for Determination of Rheological Properties of Liquids ..... 227

**Phisics ..... 232**

*Kuzmenko A.P., Leonenko N.A., Rasskazov I.U., Chrapov I.V.*
Laser Treatment and Man-Made Mineral Formation ..... 232

*Polunin V.M., Storozhenko A.M., Tantsyura A.O.*
Magnitogranulometric and Akustogranulometric Analysis of Nanodispersed Phase of the Highly Concentrated Magnetic Fluid ..... 236

*Kuzko A.E., Kuzko A.V., Harzeev V.A.*
Development and Testing of Equipment for Research of Electroconvective Heat Exchange ..... 241

*Rodionov A.A., Petrova L.P., Ignatenko N.M., Burmistrov V.N.*
About an Internal Friction In the Antiferromagnetics in the Field of the Linear Response ..... 246

**Information for authors** ..... **250**

**© Southwest State University, 2012**

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

## *Информатика, вычислительная техника и управление*

УДК 681.3

**Хла Вин,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: hlawin85@gmail.com)

**С.С. Шевелев,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: schewelew@mail.ru)

**В.П. Добрица,** д-р физ.-мат. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: dobritsa@mail.ru)

### ВЫЧИСЛИТЕЛИ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА НЕЙРОНАХ

*Вычислители арифметических операций выполняют основные арифметические операции сложения, вычитания, умножения и деления чисел в прямых двоичных кодах в формате с фиксированной запятой.*

***Ключевые слова:*** *код операций, прямой двоичный код, операции с фиксированной запятой, сумматор, вычитатель, умножитель, делитель.*

***

Вычислители арифметических операций на нейронах выполняют операции суммирования, вычитания, умножения и деления в формате с фиксированной запятой. В современных ЭВМ операции суммирования и вычитания выполняются с применением дополнительных и обратных кодов. Положительные слагаемые представляются в прямом коде, а отрицательные числа – в модифицированном дополнительном или в обратном коде. Затем производят суммирование двоичных чисел, включая знаковые разряды. В дополнительном коде при возникновении переноса из знакового разряда единицу не учитывают. В обратном коде перенос учитывается, выполняется циклический перенос. Алгебраическая сумма чисел получается в прямом коде, если эта сумма положительная, и в дополнительном или обратном коде, если сумма отрицательная. Известен алгоритм сложения и вычитания чисел в прямых кодах. Если операнды имеют одинаковые знаки, то числа суммируются. Операция вычитания выполняется, если знаки чисел разные. При вычислении разности в прямом коде необходимо сравнивать модули чисел. Операция умножения выполняется с помощью функций сложения и сдвига. Результатом произведения является сумма частичных произведений. В вычислителе операция умножения выполняется со стороны старших разрядов множителя со сдвигом двоичных разрядов множимого вправо. Операция деления выполняется по алгоритму деление чисел без восстановления остатков [1, 2].

Вычислители арифметических операций на нейронах изображены на рис. 1 содержит: блок ввода данных и кода операций БВДОК, блок сумматора-вычитателя БСВ, блок умножителя БУ, блок делителя БД, блок хранения результатов БХР.

**Блок сумматора-вычитателя**

На блок сумматора-вычитателя поступают в регистры большего числа и меньшего числа двоичные числа. На сумматоре по модулю два определяется знак результата. Если числа имеют одинаковые знаки, то вычисляется сумма чисел. Знак результату присваивается по знаку любого из слагаемых. Если знаки чисел разные, то проводится операция вычитания. Из большего по модулю числа вычитается меньшее. Знак результату в этом случае присваивается по знаку большего по модулю числа.

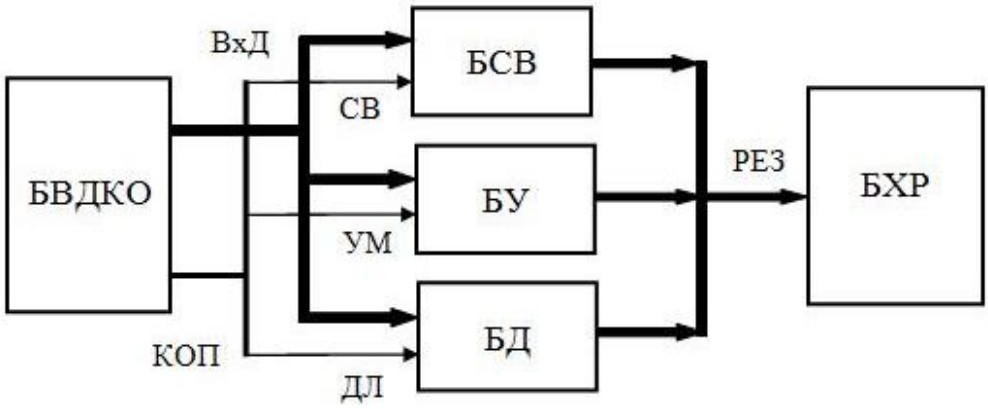



Рис. 1. Структурная схема вычислителей арифметических операций на нейронах

Блок сумматора-вычитателя БСВ (рис. 2) содержит: блок компарации БК, блок суммирования-вычитания БЛСВ, блок регистра большего числа БРБЧ, блок регистра меньшего числа БРМЧ, блок регистра результата БРР.

Блок компарации БК содержит комбинационную схему сравнения. Этот блок предназначен для определения большего числа по модулю. На вход компаратора КОМ поступают n-разрядные числа без знаковых разрядов. На выходе компаратора имеется три выхода: БЛ – первое число больше второго, РВ – входные числа равны по модулю, МН - первое число меньше второго. На вход компаратора поступает управляющий сигнал СВ – признак суммирования или вычитания. Если на вход сумматора-вычитателя поступят числа с разными знаками, то в этом случае необходимо в блок регистра большего числа записать больший по модулю операнд. В блок регистра меньшего числа загружается число меньшее по модулю. Схема определения сигнала суммирования-вычитания СВ выполнена на формальном нейроне. Если управляющий сигнал СВ равен нулю, то это означает, что выполняется операция суммирования. В этом случае сравнение чисел не происходит.

Блок регистра большего числа БРБЧ содержит n – двоичных триггеров. Этот блок предназначен для хранения двоичного кода большего по модулю операнда. По приходу из блока компарации информационного сигнала данные большего числа ДБЧ и управляющего сигнала больше БЛ осуществляется загрузка двоичного кода числа в регистр блока. В этом блоке хранится большее по модулю число, если необходимо выполнить операцию вычитания, и первое число, поступившее из блока ввода чисел, в случае выполнения операции сложения.

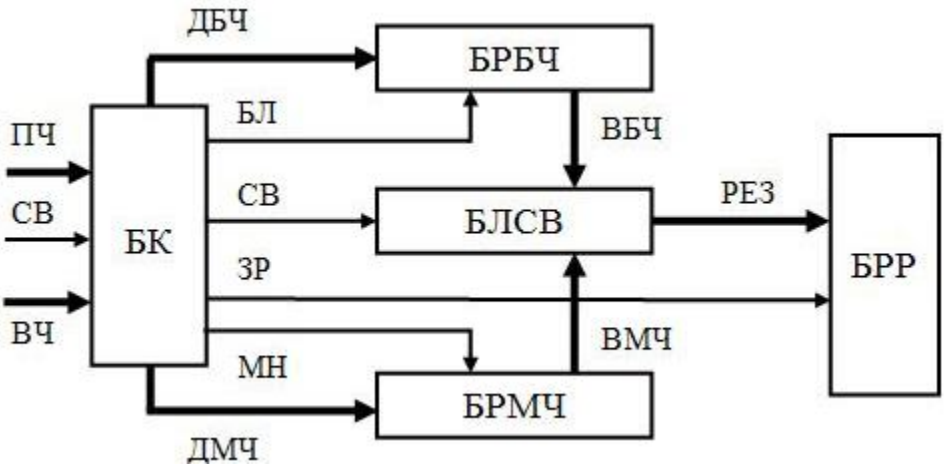



Рис.2

Блок суммирования-вычитания БЛСВ содержит n – одноразрядных сумматоров-вычитателей. На вход каждого одноразрядного сумматора-вычитателя поступают двоичные разряды большего и меньшего по модулю чисел, перенос из младших разрядов в старшие при суммировании или заем из старших разрядов в младшие при вычитания и управляющий сигнал суммирования-вычитания СВ. Выходом каждого сумматора-вычитателя является результат суммы или разности РЕЗ и перенос или заем. Если сигнал суммирования-вычитания СВ равен нулю, то это означает, что входные числа имеют одинаковые знаки, в этом случае выполняется операция суммирования. В случае равенства СВ единице выполняется операция вычитания. Выходная информация в виде результата РЕЗ с выхода блока суммирования-вычитания поступает на вход блока регистра результата.

Блок регистра меньшего числа БРМЧ содержит n – двоичных триггеров. Этот блок предназначен для хранения двоичного кода меньшего по модулю числа при выполнении операции вычитания, и второго числа при выполнении операции сложения. По приходу информационного сигнала данные меньшего числа ДМЧ и управляющего сигнала меньше МН осуществляется загрузка двоичного кода числа в триггеры блока.

Блок регистра результата БРР содержит k – двоичных триггеров, где k - количество разрядов, необходимое для получения результата заданной точности. В состав блока входит двоичный триггер для хранения знакового разряда результата. В двоичные триггеры блока записывается сумма или разность чисел РЕЗ. Знаковый разряд результата ЗР запишется в двоичный триггер блока.

**Блок умножителя**

Операция умножения в арифметическом вычислителе выполняется в прямом коде методом накопления частичных произведений. Произведение вычисляется как сумма частичных произведений, из которых каждое получается последовательными сдвигами и умножением множимого на соответствующий разряд множителя. Частные произведения принимают нулевые значения, если разряды множителя равны нулю, или множимому, если разряды множителя равны единице, сдвинутому на соответствующее количество разрядов. При точном умножении двух чисел количество значащих цифр произведения достигает двойного количества значащих цифр сомножителей. Знак произведения определяется путем сложения знаковых цифр сомножителей по модулю 2.

Блок умножителя (рис. 3) содержит: блок регистр множимого БРМН, блок регистр множителя БРМЛ, блок суммирования БСУМ, блок анализа разряда множителя БАРМЛ, блок хранения результата БХР.

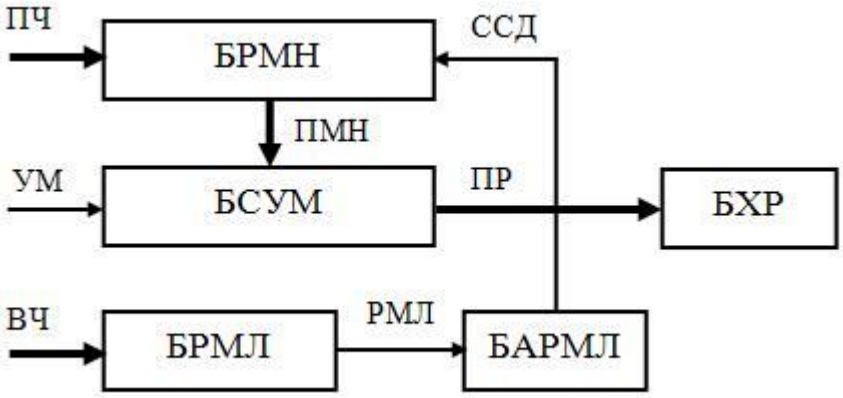



Рис.3

Входными информационными сигналами блока умножителя являются двоичные коды первого числа ПЧ – множимого, второго числа ВЧ - множителя, а так же управляющий сигнал УМ – выполнение операции умножения.

Блок регистр множимого представляет собой набор D-триггеров. Этот регистр предназначен для хранения двоичных разрядов множимого, а так же для организации сдвига. Разряды множимого сдвигаются вправо на один разряд в сторону младшей части. На выходе блока формируются двоичные разряды преобразованного множимого ПМН.

Блок – регистр множителя представляет собой набор D-триггеров и логический элемент ИЛИ. Регистр множителя предназначен для хранения разрядов множителя и организации сдвига вправо разрядов множителя на один разряд в сторону старшей части с целью получения и анализа текущего старшего разряда множителя.

При каждом сдвиге вправо на один разряд происходит анализ множителя на наличие единичных разрядов. Если в разрядах множителя есть хотя бы одна единица, то операция умножения продолжается, сигнал признака пустого регистра принимает единичное значение, в обратном случае этот сигнал равен нулю, операция умножения заканчивается. Происходит сдвиг регистра множителя вправо на один разряд в сторону младшей части. На выходе блока формируется сигнал текущего старшего разряда множителя РМЛ, поступающий на вход блока анализа разряда множителя.

Блок суммирования БСУМ состоит из k-сумматоров на нейронах. Этот блок предназначен для выполнения операции суммирования с целью получения частичных сумм на промежуточных шагах вычисления, а так же разрядов произведения при окончании операции умножения и хранения знакового разряда произведения. Каждый блок суммирования представляет собой одноразрядный сумматор, на входы которого поступают разряды преобразованного множимого, сумма чисел от предыдущего этапа сложения и перенос из младших разрядов. Выходными сигналами блока являются полученная сумма и перенос в старший разряд. Произведение чисел ПР со своим знаком записывается в оперативное запоминающее устройство блока хранения результата.

Блок анализа разряда множителя БАРМЛ состоит из пороговых элементов и двоичного триггера. Он предназначен для анализа текущего разряда множителя, начиная со старшего. На вход блока поступает текущий разряд множителя РМЛ. На выходе формируется сигнал сдвига множимого ССД.

Блок хранения результата БХР состоит из оперативного запоминающего устройства, счетчиков строк и столбцов и служит для хранения двоичных разрядов результата. На вход блока поступают разряды произведения ПР. Прямоугольные импульсы поступают на входы счетчиков для формирования адресов строк и столбцов в оперативном запоминающем устройстве. По этим адресам осуществляется запись произведения в оперативное запоминающее устройство блока.

**Блок делителя**

Операция деления без восстановления остатка выполняется по следующему алгоритму. Знак частного при делении в прямом коде определяется как сумма по модулю для знаковых цифр делимого и делителя и присваивается частному в конце операции деления. Частное определяется путем деления модулей исходных чисел. Чтобы определить следующую цифру частного, необходимо сдвинуть текущий остаток влево на один разряд, а затем алгебраически прибавить к нему модуль делителя, которому приписывается знак, противоположный знаку текущего остатка. Знак полученного таким образом следующего остатка и определяет следующую цифру частного: если остаток положительный, то в частном записывается единица, если отрицательный, то записывается нуль. Операция сдвигов и алгебраических сложений по-

вторяется до тех пор, пока в частном не получится требуемое количество цифр.

Блок делителя (рис. 4) содержит: блок регистра делимого БРДМ, блок регистра делителя БРДТ, блок регистра остатка БРОСТ, блок регистра частного БРЧС, блок суммы и формирования разрядов частного БСФРЧ, блок анализа переполнения разрядной сетки БАПРС.

Входными информационными сигналами блока делителя являются двоичные коды первого числа ПЧ – делимого, второго числа ВЧ - делителя, а так же управляющий сигнал ДЛ – выполнение операции деления. Блок регистра делимого БРДМ содержит n - триггеров, где n - количество разрядов входного числа, Этот блок предназначен для хранения двоичного кода делимого. По приходу входного информационного сигнала на вход регистра осуществляется запись двоичного кода делимого. Блок регистра остатка БРОСТ содержит n – двоичных триггеров. Информационный сигнал остатка ОСТ записывается и хранится в триггерах блока. По приходу управляющего сигнала сдвига, поступающего на входы всех триггеров блока, осуществляется операция сдвига влево двоичного кода на один разряд. Триггера этого блока образуют реверсивный регистр со сдвигом информации на один разряд влево.

Блок суммы и формирования разряда частного БСФРЧ содержит логические элементы ИЛИ, k – одноразрядных сумматоров-вычитателей. Блок предназначен для вычисления двоичных разрядов частного и знакового разряда остатка ЧАС. На входы сумматора-вычитателя поступают двоичные разряды делимого и разряды делителя для получения первого остатка и формирования первого разряда частного. Для получения очередных разрядов частного на вход сумматора-вычитателя поступает сдвинутый на один разряд остаток из блока остатка. На вход каждого одноразрядного сумматора-вычитателя поступают двоичные разряды сдвинутого остатка, делителя, перенос из младших разрядов в старшие или заем из старших разрядов в младшие. Результатом является разряд суммы или разности, а также перенос или заем. Разряд частного ЧАС равен инверсному значению знакового разряда остатка. Если сигнал суммирования-вычитания ЧАС равен нулю, то это означает, что в знаковом разряде остатка получено единичное значение, при этом разряд частного будет равен нулю. После записи этого разряда частного в блок регистра частного, блоком управления будет сформирован сигнал сдвига информации блока остатка влево на один разряд. Сумматор-вычитатель выполнит операцию суммирования со сдвинутым остатком и делителем. Если сигнал ЧАС равен единице, то это означает, что получен положительный знаковый разряд остатка. В блок регистра частного будет записана единица как очередной разряд частного. Блок суммы и формирования разряда частного будет выполнять операцию вычитания между сдвинутым остатком и делителем. Этот цикл будет, повторятся до тех пор, пока не будет получена целая часть частного и дробная часть с указанной точностью.

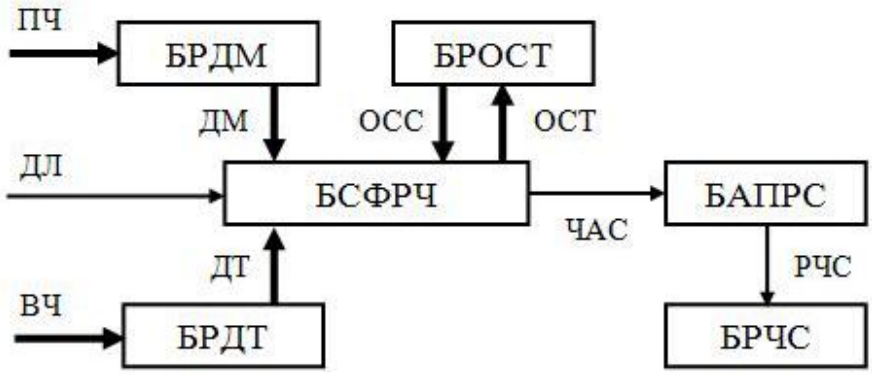



Рис.4

Одноразрядный сумматор-вычитатель вычисляет знаковый разряд остатка, затем через инвертор формируется разряд частного. На пороговом элементе формируется перенос при сложении или заем при вычитании.

Блок регистра делителя БРДТ содержит z двоичных триггеров, где z - количество разрядов делителя. Этот блок предназначен для хранения двоичного кода делителя. По приходу информационного сигнала второго числа ВЧ осуществляется загрузка двоичного кода делителя.

Блок анализа переполнения разрядной сетки БАПРС предназначен для определения переполнения разрядной сетки целой части частного и получения количества разрядов дробной части частного. Целая часть должна быть получена в зависимости от разрядной сетки делимого и делителя, а дробна часть частного, должна быть получена по условию с заданной точностью.

Блок регистра частного БРЧС содержит s двоичных триггеров, где s - количество разрядов, необходимое для получения результата как целой части частного, так и дробной. Он служит для хранения двоичных разрядов и знакового разряда частного.

Вычислители арифметических операций на нейронах представляют собой систему специализированных вычислительных блоков. В системе каждый блок имеет собственный процессор, оперативное запоминающее устройство для хранения данных, локальную коммутацию. В вычислительной системе предложены неоднородные модули, в которых явно выражена функциональная специализация устройств для эффективного выполнения арифметических операций. Каждый блок системы обеспечивает максимальное быстродействие. Он не содержит аппаратурной избыточности, и каждый ее элемент работает в полную силу. Основным принципом развития в архитектуре вычислительных систем является распараллеливание и совмещение процессов разных типов. Одновременно увеличивается число решающих блоков. В связи с этим поле их применения, безусловно, будет расширяться.

1. Карцев М.А. Арифметика цифровых машин. М.: Наука, 1969. 575 с.

2. Мкртчян С.О. Проектирование логических устройств ЭВМ на нейронных элементах. М.: Энергия, 1977.

*Получено 28.05.12*

**Hla Win** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: hlawin85@gmail.com)

**S.S.Shevelev,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: schewelew@mail.ru)

**V.P.Dobritsa,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: dobritsa@mail.ru)

**EVALUATORS ARITHMETICAL OPERATION ON NEURON**

*Evaluators arithmetical operation execute main the arithmetical operations of the adding, subtractions, multiplyings and fissions operand in direct binary code in format with fixed comma.*

***Key words:*** *code operation, direct binary code, operations with fixed comma, summer, subtractor, multiplier, divisor.*

**УДК 004. 4: 004. 93**

**С. Н. Михайлов,** канд. техн. наук, с.н.с., доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tk_kursk@mail.ru)

**К. А. Тезик,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: ktezik2007@yandex.ru )

# ВАРИАНТ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СПОСОБА ТЕМАТИЧЕСКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАКРОСОВ VBA И EXCEL

*Предложен подход к определению сходства и различия двух текстовых документов на основе сравнения матриц, содержащих информацию о количестве пар ключевых слов. Программная реализация выполнена на языке Visual Basic for Applications и листах Excel.*

***Ключевые слова**: тематическая кластеризация, система информационно-аналитического обеспечения, семантическое содержание текста, аналитический мониторинг, дискретная функция, программирование.*

***

В последнее десятилетие значительно возрос объем научных публикаций, представленных в электронном виде. При этом циркулирующие текстовые данные в сети Интернет, даже в корпоративных сетях университетов, достигли таких размеров, что, вследствие ограниченности возможностей человека-аналитика возникла серьезная проблема оперативного поиска и анализа новых научных результатов по тематике исследования. Последнее вынуждает либо накладывать жесткие ограничения на объем обрабатываемых текстовых или других документов, либо вовсе делает задачу невыполнимой. Ручная обработка лишь некоторого ограниченного объема выборок текстов из всего набора данных, подлежащих анализу, может привести к тому, что важные работы, содержащие элементы научной новизны, могут быть упущены из виду, а оперативность получения достоверных данных будет снижаться по мере возрастания количества анализируемых информационных ресурсов. Явно проявляется противоречие между объемами информационных ресурсов и ограниченными возможностями человека по поиску и переработке требуемой исследователю тематической информации.

Разрешение указанного противоречия лежит в направлении автоматизации анализа доступной информации.

Известные информационно-поисковые системы и технологии ориентированы в настоящее время лишь на те функциональные расширения, которые вытекают из возможностей Интернета и компьютерных технологий. Они в большей степени реализуют компьютерную обработку атрибутивной внешней стороны документов, а не работают с семантическим содержанием текстов. Такие системы принципиально не способны реализовать интеллектуальные функции: аналитического мониторинга и исследования, формирования аннотаций и рефератов, а также установления семантической, ассоциативной и понятийной эквивалентности текстов.

Причиной этого является отсутствие эффективных методов представления семантико-смыслового содержания текстовых данных в вычислительной среде, что также является серьёзной научной проблемой.

Таким образом, проблема оперативного поиска информации в неформализованных информационных ресурсах и целенаправленного представления тематических данных, релевантных запросу исследователя к настоящему времени стоит достаточно остро и её устранение требует решения ряда взаимосвязанных научных задач, ориентированных на разработку и создание систем информационно-аналитического обеспечения научных исследований. Перспективным направлением решения указанных задач является применение в качестве аналитического элемента обеспечения научных исследований инфологической системы аналитического мониторинга [1].

Одной из основных функций такой системы выступает функция тематической кластеризации документов, обнаруженных в различных информационных ресурсах, с целью оперативного и целенаправленного доведения их исследователям. Реализация функции кластеризации в инфологической системе требует решения следующих взаимосвязанных задач:

– количественная оценка сходства содержания (тематики) документов;

– количественная оценка принадлежности документа к тематической группе.

В ходе выполнения проекта № 6147 в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009 – 2010 годы) сотрудниками кафедры «Телекоммуникации» ЮЗГУ совместно со специалистами Санкт-Петербургского института автоматики и информатики РАН разработан макет инфологической системы, который выполняет анализ содержания текста, реферирование, выделение ключевых слов и построение визуального графа семантического содержания документа (рис.).

Примерами таких пар ключевых слов может служить сочетание слов “связь - мобильный “, указывающее на принадлежность текста к области связи, “оперативная память”, указывающее на принадлежность текста к области вычислительной техники и т. д. Построение визуального графа выполняется на основе обработки данных о количестве повторений словосочетаний в тексте, которые хранятся в отдельном XML-файле. Отличительной особенностью инфологической системы является функция хранения антологий требуемых предметных областей (тематик), которые также могут быть представлены визуальным графом. Авторами предложен вариант программной реализации способа кластеризации текстовых документов [2] на основе сравнения семантического содержания исследуемого текста и антологии. При этом возникает необходимость сравнить результаты анализа исследуемого текста и антологии предметной области, представленные соответствующими XML-файлами.

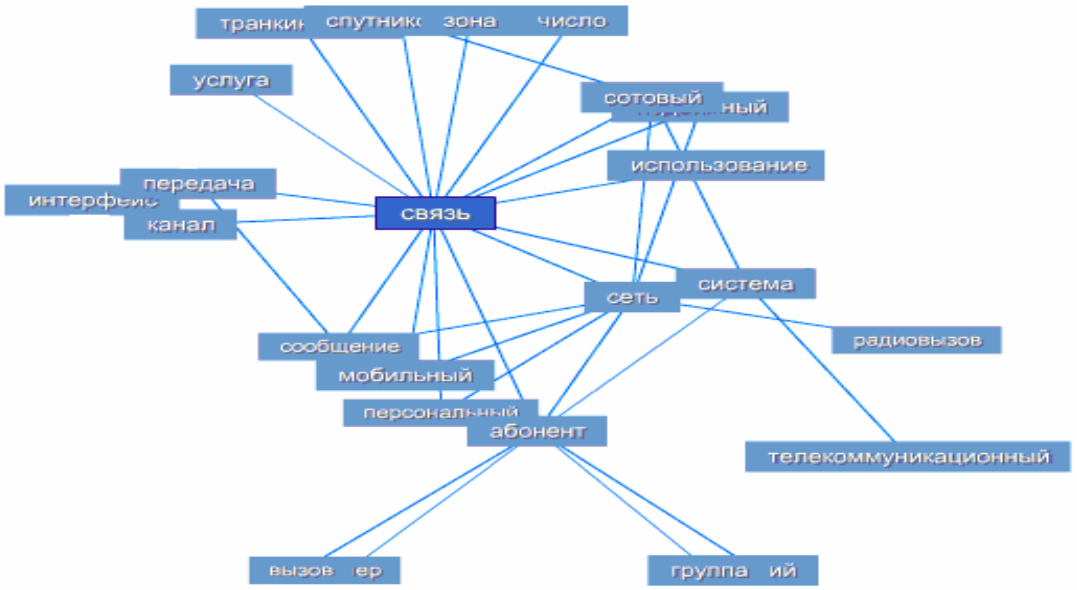



Рис. Визуальный граф семантического содержания документа

По результатам данного сравнения должен быть сделан вывод о принадлежности текста к определенной тематической группе. Например, если в эталонном и исследуемом текстах определенные сочетания пар слов встречаются более чем по 2 раза, то исследуемый текст можно отнести к предметной области, которую характеризует данная антология (эталон). Очевидно, для решения данной задачи сравнения текстов необходимо разработать компьютерную программу, обладающую следующими функциональными возможностями:

– в программе должны быть структуры данных, в которых хранится информация о ключевых словах, количестве повторений пар ключевых слов в исследуемом и эталонном текстах;

– в программе должен быть реализован механизм поиска одинаковых сочетаний ключевых слов в исследуемом и эталонном текстах. Если данный поиск дал положительные результаты, то далее необходимо выбрать данные, характеризующие количество пар ключевых слов;

– на основе логических правил вида если-то должен быть сделан вывод о том, следует ли данный текст отнести к предметной области в соответствии с эталонным текстом.

Для решения задачи сравнения исследуемого и эталонного текстов предлагается следующий вариант программной реализации. Для хранения информации о сочетаниях пар слов и количестве повторений пар слов используем лист программы Excel. При этом информацию располагаем в виде таблицы (матрицы). Первый столбец и первая строка матрицы – это ключевые слова текста. На пересечении строк и столбцов – количество повторений пар ключевых слов.

Каждое ключевое слово и каждое число, характеризующее количество повторений пар символов, находятся в одной определенной ячейке листа Excel.

Для хранения информации удобно использовать 2 листа Excel, первый лист – для хранения информации об исследуемом тексте, второй лист – для хранения информации об эталонном тексте. Приведем упрощенный пример данных массивов информации.

Следует отметить, что одно и то же ключевое слово может располагаться в разных ячейках таблицы Excel для исследуемого и эталонного текста. Поэтому для сравнения матриц двух текстов предлагаем использовать дискретную функцию, которая отображает номера строк (столбцов) матрицы эталонного текста на номера строк (столбцов) матрицы исследуемого текста.

Таблица 1

Ключевые слова исследуемого текста

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Информация | Система | Электроэнергия | Оборудование |
| 2 | Информация | 0 | 1 | 2 | 1 |
| 3 | Система | 1 | 0 | 2 | 3 |
| 4 | Электроэнергия | 2 | 2 | 0 | 4 |
| 5 | Оборудование | 1 | 3 | 4 | 0 |

Таблица 2

Ключевые слова эталонного текста

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Система | Питание | Электроэнергия | Оборудование |
| 2 | Система | 0 | 1 | 2 | 1 |
| 3 | Питание | 1 | 0 | 2 | 3 |
| 4 | Электроэнергия | 2 | 2 | 0 | 4 |
| 5 | Оборудование | 1 | 3 | 4 | 0 |

Таблицу данного соответствия будем отображать на третий лист Excel на первоначальном этапе работы программы.

Приведем пример таблицы с аргументами и значениями дискретной функции.

Таблица 3

Дискретная функция

| | A | B |
|---|---|---|
| 1 | Лист2(эталон) | Лист1(исследуемый текст) |
| 2 | 2 | 3 |
| 3 | 3 | 0 |
| 4 | 4 | 4 |
| 5 | 5 | 5 |

Здесь показано, что ключевое слово во второй строке матрицы эталонного текста совпадает с ключевым словом третьей строки исследуемого текста. В исследуемом тексте нет ключевого слова, соответствующего ключевому слову в третьей строке эталонного текста, что отображается значением нуля.

На последующем этапе программа обращается к данному листу Excel, находит соответствие координат в матрицах текстов по ключевым словам и сравнивает содержание матриц. На основе сравнения по выбранному критерию программа выводит сообщение о сходстве или различии исследуемого и эталонного текстов.

Данная программа реализована в соответствии с правилами языка программирования Visual Basic for Applications [3]. Листинг программы имеет следующий вид:

```
n = InputBox("Введите количество сравниваемых слов в текстах")
For ii = 2 To n + 1
Лист3.Cells(ii, 1) = ii
Лист3.Cells(ii, 2) = 0
' формирование дискретной функции на листе Excel№3
For jj = 2 To n + 1
If Лист2.Cells(ii, 1) =
Лист1.Cells(jj, 1) Then
Лист3.Cells(ii, 2) = jj
 End If
Next
Next
'симметричное копирование матрицы относительно главной диагонали

For i = 2 To n + 1
For j = 2 To n + 1
If i> j Then
Лист1.Cells(i, j) = Лист1.Cells(j, i)
End If
Next
Next
Сравнение = 0
'переход к новым координатам в соответствии с дискретной функцией

For i = 2 To n + 1
x = Лист3.Cells(i, 2)
For j = 2 To n + 1
y = Лист3.Cells(j, 2)
'сравнение исследуемого и эталонного текстов

If x <> 0 And y <> 0 Then
If j >i And Лист1.Cells(x, y) > 2 And Лист2.Cells(i, j) > 2 Then
Сравнение = 1
End If
End If
Next
Next
If Сравнение = 1 Then
MsgBox "Есть сходство в тематике текстов"
Else: MsgBox "Данные тексты по тематике различны"
EndIf
EndSub
```

Предложенный вариант программной реализации способа кластеризации текстовых документов показывает принципиальную возможность решения задачи определения сходства и различия семантического содержания текстовых документов. Направлением дальнейшего исследования является определение количественных оценок вероятности сходства семантического содержания текстов в зависимости от количества повторений пар ключевых слов на условную единицу объема текста.

**Список литературы**

1. Михайлов С.Н., Севрюков А. Е. Обобщенная архитектура инфокоммуникационной среды информационно-аналитического обеспечения научных исследований ВУЗа // Информационно-измерительные и управляющие системы. Радиотехника. 2010. №11. Т8. С.40 -42.

2. Михайлов С.Н. Способ тематической кластеризации текстовых документов на основе их инфологической обработки // Наукоёмкие технологии. Радиотехника. 2012. №9. С. 48- 51.

3. Сдвижков О. А. Excel-VBA: словарь-справочник пользователя. М.: Эксмо, 2008. 224 с.

*Получено 18.06.12*

**S. N. Mikhaylov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: tk_kursk@mail.ru)

**K.A.Tezik,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: ktezik2007@yandex.ru)

**OPTION OF PROGRAM REALIZATION OF THE WAY TEMATICHESA OF THE CLUSTERING OF TEXT DOCUMENTS ON THE BASIS OF USE OF MACROES OF VBA AND EXCEL**

*The approach to determination of similarity and distinction of two text documents on the basis of comparison of the matrixes containing information on number of pairs of key words is offered. Program realization is executed in the Visual Basic for Applications language and the sheets Excel.*

***Key words**: thematic clustering, system of information-analytical providing, semantic contents of the text, analytical monitoring, discrete function, programming.*

---

УДК 378.4

**В.Н. Николаев,** д-р техн. наук, профессор,Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел. (4712) 58-71-22)

**А.В. Ткаченко,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tkachenko46@list.ru)

**К.А. Ткаченко,** аспирант**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) **(**тел. (4712) 58-71-22)

**МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТНЫХ ПОЗИЦИЙ ВУЗА В УСЛОВИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Рассматриваются модели оценки конкурентных позиций вуза в условиях расширения использования инновационных образовательных технологий с трех точек зрения: международных организаций, структур управления образованием и потребителей образовательных услуг. Показано, что для территориальных вузов наиболее важными задачами являются самооценка и оценка потребителем образовательных услуг.*

***Ключевые слова:** вуз, рейтинг, конкурентные преимущества, потребители рейтинга, целевая группа, инновационные образовательные технологии.*

***

**Введение**

В последние годы наблюдается обострение конкуренции на рынке образовательных услуг. Это связано, во-первых, с перестройкой системы образования в соответствии с требованиями Федеральных государственных образовательных стандартов и ее ориентацией на инновационные образовательные технологии. В то же время вузы вынуждены привлекать дополнительные ресурсы для удовлетворения возрастающих требований по повышению качества подготовки специалистов. Во-вторых, на рынке образовательных услуг присутствует большое количество вузов, которые предлагают клиентам обширный список предоставляемых ими услуг. В-третьих, в последние годы наблюдается значительное снижение количества абитуриентов по причине негативных демографических процессов.

В сложившихся условиях для обеспечения лидерства на рынке образовательных услуг неотъемлемой составляю-

щей процесса управления высшим учебным заведением становится решение задачи управления собственной конкурентоспособностью на основе анализа внутренней и внешней информации.

Успешное решение задачи управления конкурентоспособностью вуза, по нашему мнению, может быть достигнуто путем создания отлаженной системы сбора, обобщения и анализа информации о текущем состоянии рыночной среды, о конкурентах, конкурентных возможностях вуза и эффективном их использовании.

Сложность решения данной задачи заключается в многоаспектности исследуемых процессов и необходимости учета множества факторов внутренней и внешней среды вуза, в т.ч. социально-экономической ситуации в регионе. В дополнение к сложности, решение задачи управления конкурентоспособностью связано с большой ее трудоемкостью. Трудоемкость определяется необходимостью обработки больших объемов информации, которая в силу специфики исследуемой предметной области отличается неоднородностью. Не менее важным фактором является отсутствие или недостаточный объем достоверных данных об исследуемых процессах.

**Постановка задачи**

В работе [8] конкурентоспособность вуза рассматривается как его способность осуществлять следующие виды деятельности:

1) готовить специалистов, выдерживающих конкурентную борьбу на конкретном внешнем или внутреннем рынке труда;

2) разрабатывать конкурентоспособные новшества в своей области;

3) вести эффективную воспроизводственную политику во всех сферах своей деятельности.

При этом механизм управления конкурентоспособностью вуза состоит из следующих взаимосвязанных компонент: миссия вуза, его связи с внешней средой, инструменты новой инновационной экономики, применение которых может обеспечить конкурентоспособность, принципы, функции и методы управления.

Таким образом, под конкурентоспособностью вуза подразумевается возможность удовлетворять потребности общества в образовательных услугах в соответствии с государственными образовательными стандартами, а также специальными образовательными программами при переподготовке и повышении квалификации обучающихся на сравнительно более высоком уровне, чем у конкурентов.

Важнейшей составляющей конкуренции является конкурентная среда или конкурентное окружение.

Конкурентное окружение можно представить в виде множественного воздействия окружающей среды на организацию, в данном случае вуз. Эти воздействия могут быть разного типа.

Наиболее известным методом исследования конкурентного окружения является, приведенная в работе [6] «модель пяти сил».

Пятью ключевыми силами названы следующие:

– угроза проникновения на рынок потенциальных конкурентов;

– власть покупателей;

– власть поставщиков;

– угрозы со стороны заменителей товара или услуги;

– уровень конкурентной борьбы между традиционными конкурентами.

Модель пяти сил предполагает проведение структурного анализа на основе определения интенсивности конкуренции и исследования внешних угроз.

На основе изучения и анализа конкурентной среды может быть сформирован рейтинг вузов. Под рейтингом мы понимаем упорядочение в списке от первого до последнего на основе измерения сравнительных преимуществ одних объектов над другими.

Рейтинги – инструмент накопления информации и оценки качества вузов, отдельных программ, преподавательской и

исследовательской деятельности. Основы теории рейтингов рассматриваются в [5].

В качестве источников информации для построения рейтингов используются:

– статистические данные или показатели, которые можно рассчитать на основании статистических данных (численность студентов разных уровней, численность преподавателей, численность студентов, окончивших курс в установленные сроки, затраты на обучение одного студента или на один кредит и т.п.);

– данные субъективной статистики (репрезентативные опросы студентов, работодателей и т.п.);

– экспертные опросы.

Каждый из вышеперечисленных источников имеет свои недостатки. Так, в работе [7] приводится обоснование того, что статистические данные могут не отражать аспектов, связанных именно с качеством обучения, поскольку качество сложно измерить.

В работе [4] отмечается, что всякое ранжирование может быть подвергнуто сомнению и не существует абсолютно объективных рейтингов.

В ряде работ, например [2,3], отмечается, что конкурентоспособность вуза может рассматриваться на различных уровнях, начиная от международного до регионального (территориального). Причем на каждом уровне в качестве конкурентных составляющих включаются различные показатели.

Разработчики международного рейтинга лучших университетов мира QS World University Rankings [10], используют следующие шесть основных критериев оценки вуза:

1) репутация в академической среде;

2) цитируемость публикаций сотрудников вуза;

3) соотношение числа преподавателей и студентов;

4) отношение к выпускникам среди работодателей;

5) относительная численность иностранных преподавателей;

6) относительная численность иностранных студентов.

Рейтинг использует комбинацию международных исследований и аудированные данные, включая информацию по индексу цитирования из Скопуса, крупнейшей в мире библиометрической базы данных научных публикаций.

Одним из основных критериев при оценке вузов в рейтинге QS World University Rankings является мнение академического сообщества. Этот показатель занимает 40% всей оценки и показывает, насколько профессора из данного университета известны мировому академическому сообществу через совместное участие в исследовательских проектах, публикациях в международных научных изданиях, участие в конференциях и т.д.

Общий (глобальный) рейтинг вычисляется по формуле

$$I = \sum_{i=1}^{6} a_i p_i , \qquad (1)$$

где $I$ – итоговое значение рейтинговой оценки; $a_i$ – коэффициент; $p_i$ – показатель.

По нашему мнению, конкурентоспособность российского вуза можно рассматривать на трех уровнях: международном, федеральном и территориальном. Международный уровень в данной работе нами не рассматривается – основное внимание удаляется федеральному и территориальному рейтингам.

Необходимо заметить, что вузы в отличие от коммерческих структур не производят легко учитываемый и конкурирующий товар. Они являются социально-культурными институтами и их продукт оценивается не только правительством или бизнесом, но и обществом.

Конкурентные преимущества территориального вуза можно рассматривать со следующих точек зрения: государственных структур управления образованием; общественных организаций (например, работодателей); потребителя образовательных услуг (абитуриентов и их родителей).

Для формирования рейтингов на федеральном уровне до недавнего времени использовались аккредитационные показатели вузов и показатели, объявленные приказом министра образования №631 от 26.02.2001г. «О рейтинге высших учебных заведений». В приказе приводится структура модели рейтингов насчитывающая следующие шесть групп критериев:

– образовательная деятельность вуза;

– научно-исследовательская деятельность вуза;

– социализаторская деятельность вуза;

– международная деятельность вуза;

– бренд вуза;

– инновации и коммерциализация разработок.

Каждая группа имеет присвоенный ему вес и включает от трех до семи индикаторов.

В общем виде структура модели рейтинга показана на рисунке.

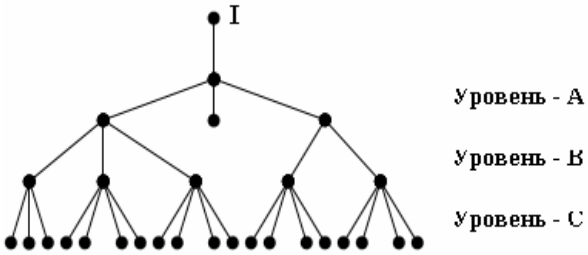



Рис. 1. Структура модели рейтинга: (уровень А: потенциал, бренд и активность; уровень В: интеллектуальный потенциал, материальная и информационная база, социально-культурная база, подготовка кадров, производство и апробация знаний и технологий; на уровне С находятся первичные данные)

Глобальный критерий $I_{гл}$ вычисляется по следующей, представленной в общем виде формуле:

$$I_{гл} = \sum_i a_i \sum_j b_j \sum_k c_k C_k , \qquad (2)$$

где $a_i$, $b_j$ и $c_k$ – коэффициенты важности;

$C_k$ – значения показателей на уровне С.

Модель официального рейтинга российских вузов основывается в целом на статистических и качественных показателях. Она является содержательной и объективной, предусматривая участие всех вузов в рейтинге. Это является безусловным преимуществом модели, определяющим пригодность ее использования для официального рейтинга.

В то же время в работе [7] отмечается, что чрезвычайно формальный подход к оценке вузовской деятельности, недостаток достоверной информации об условиях образования, перспектив трудоустройства выпускников вузов в соответствии со специализацией, мнения выпускников о качестве обучения в вузе и их готовность к профессиональной деятельности, а также отдельные особенности вузов – все это является отрицательными чертами данной модели. Все эти факторы ограничивают индивидуальное и общественное использование данной рейтинговой модели.

В работе [1] подчеркивается, что сегодня необходим действенный механизм общественной оценки высшего профессионального образования в России. Разработать и внедрить такой механизм призван проект «Деловой рейтинг высшего образования», инициированный Общероссийской общественной организацией «Деловая Россия».

Методика «Делового рейтинга» предполагает одновременное использование мониторинга, позволяющего выявлять, оценивать и отслеживать динамику качественных показателей деятельности вуза, и рейтинга, в соответствии с которым на основе специально разработанных критериев формируется иерархически упорядоченный перечень вузов.

Такой взгляд на проблему предполагает внешнюю оценку конкретных результатов деятельности вузов по подготовке молодых специалистов путем анализа трудоустройства и профессиональных карьер выпускников взамен традиционного анализа ресурсов вузов и/или процесса обучения.

В основу методики исследования заложены следующие группы критериев:

– карьера выпускников (положение и продвижение на рынке труда, а также уровень зарплаты);

– потребность в выпускниках данного вуза у работодателей;

– оценка результатов подготовки выпускников;

– усилия вуза по обеспечению качества подготовки;

– личные образовательные стратегии выпускников.

По нашему мнению, данная методика в основном отражает требования к выпускнику и мнение работодателей о его деловых качествах.

Наибольший интерес представляют исследования конкурентоспособности вуза на территориальном уровне. Именно здесь потребитель выбирает вуз для получения образовательной услуги.

Фактор конкуренции вынуждает вузы формировать и реализовывать собственную территориальную стратегию, нацеленную либо на максимально возможный охват совокупности локальных рынков (деконцентрацию), либо напротив, на оптимальную локализацию, использование потенциала рыночного пространства региона в целом. Территориально-локализационный аспект рыночной конкуренции крайне важен, поскольку в условиях емкого и диверсифицированного по параметрам спроса и предложения рынка размещение в том или ином населенном пункте и даже конкретном городском районе позволяет обеспечить не только дополнительное конкурентное преимущество, но и определяет возможность получения ренты по местоположению.

Роль территориального фактора не только существенна, но и универсальна. Например, в работе [6] подчеркивается, что географическое местоположение остается фундаментальным фактором конкуренции.

Важнейшей задачей поддержания приемлемого уровня конкурентоспособность вуза в условиях демографического спада и снижения емкости рынка является работа по привлечению потребителей, за увеличение занимаемой доли рынка по сравнению с конкурентами или, по крайней мере, за ее удержание на прежнем уровне. Поэтому, доля рынка, занимаемая вузом, является отражением влияния всех факторов внешней и внутренней среды, отражает уровень спроса на услуги вуза и его сбытовые возможности, является важнейшим показателем его конкурентоспособности в современных условиях.

По материалам, приведенным в работе [9], потребитель, выбирая образовательную услугу, в силу менталитета, ориентируется на «третьих» лиц, среди которых по убыванию степени значимости можно выделить: «соседа (друга)», государство, всех остальных. Поэтому для формирования положительного имиджа и доброй репутации вузам необходима обратная связь с потребителями, которая является основой потребительской оценки. По нашему мнению, наиболее приемлемым инструментом обратной связи в настоящее время и в ближайшем будущем являются социальные сети.

В работе [3] показано, что конкурентоспособность вуза в регионе определяется не только уровнем его образовательных услуг. Существенное значение имеет и социальная инфраструктура вуза (студенческое жилье, питание, материально-техническая база, инфраструктура для отдыха и духовного развития студентов). Важное значение для потребителей имеют также такие факторы, как цена обучения, известность вуза (престижность), наличие востребованных специальностей и т.п.

По этой причине для исследования конкурентоспособности вуза и управления его конкурентными позициями целесообразно, по нашему мнению, использовать следующую группу критериев:

1. Доля исследуемого вуза на региональном рынке образовательных услуг.

2. Показатели и перспективы трудоустройства выпускников.

3. Показатели конкурентных возможностей (потенциал и инновации вуза).

4. Социальную инфраструктуру вуза.

Каждая из групп, включает показатели, перечень которых требует дополнительных обоснований.

**Выводы**

Для обеспечения лидерства на рынке образовательных услуг неотъемлемой составляющей процесса управления высшим учебным заведением является управление собственной конкурентоспособностью.

Наиболее известным и широко используемым показателем конкурентных позиций вуза является его рейтинг. Показано, что основными потребителями рейтингов являются абитуриенты, желающие выбрать для себя вуз и программу обучения, а также сами вузы – для удержания конкурентных позиций. При составлении рейтинга необходимо четко представлять, для кого он предназначен. Ориентация на целевую потребительскую группу определяет концепцию рейтинга, показатели и способ представления результатов.

Проведено обоснование и сформирована группа критериев для исследования конкурентоспособности вуза и управления его конкурентными позициями, которая включает: долю исследуемого вуза на региональном рынке образовательных услуг; показатели и перспективы трудоустройства выпускников; показатели конкурентных возможностей (потенциал и инновации); социальную инфраструктуру.

**Список литературы**

1. Брусникин Н.Ю., Дымарская О.Я. Оценка деятельности вузов с точки зрения рынка труда. URL: http://www.socaction.ru.

2. Глобальные рейтинги университетов мирового класса/ URL: www.reitor.ru/common/img/uploaded/files/msu.

3. Екшикеев, Т.К. Конкурентоспсобность и конкурентные преимущества ВУЗа // Проблемы современной экономики. 2009. № 4 (32).

4. Йинг Ченг, Ниан Кай Лю Академический рейтинг университетов мира по предметным областям, 2006 г. URL: www.logosbook.ru/educational_book.

5. Козулин А. В., Ковалев М. М. Модели рейтинга университетов // Белорусский банковский бюллетень. 2001. № 48. С. 52-59.

6. Портер М. Конкуренция. М.: Вильямс, 2005. 608 с.

7. Рейтинг высших учебных заведений в России / Ю. Похолков, А. Чучалин, Д.Агранович, С. Могильницкий. URL: http://logosbook.ru/educational_book/4upachbasm.html.

8. Фатхутдинов Р.А. Стратегический менеджмент: учебник. 6-е изд., испр. и доп. М.: Дело, 2000. С. 100-101.

9. Червяков Л.М., Бычкова Н.А., Елисеева Н.В. Система независимой оценки качества образовательных услуг // Известия ЮЗГУ. 2011. № 2 (35). С. 37-40.

10. http://univer-rating.ru.

*Получено 12.04.12*

**V.N. Nikolaev,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (tel. (4712) 58-71-22)

**A.V. Tkachenko,** Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: tkachenko46@list.ru)

**K.A. Tkachenko,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (tel. (4712) 58-71-22)

**MODELS OF AN ESTIMATION OF COMPETITIVE POSITIONS OF HIGH SCHOOL IN CONDITIONS OF USE OF INNOVATIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES**

*Models of an estimation of competitive positions of high school in conditions of expansion of use of innovative educational technologies from three points of view are considered: the international organizations, structures of management of formation and consumers of educational services.*

*It is shown, that for territorial high schools the most important problems are the self-estimation and an estimation the consumer of educational services.*

***Key words:*** *high school, a rating, competitive advantages, consumers of a rating, target group, innovative educational technologies.*

УДК 532; 541.65

**В.В. Серебровский,** д-р техн. наук, профессор**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

**А.В. Полянский,** ст. преп., Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: polyansky72@gmail.com)

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОСТЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ

*Изучены возможности применения дырочной и кластерной моделей для прогнозирования температурной зависимости показателя преломления жидкости. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных, показаны преимущества и недостатки указанных моделей.*

***Ключевые слова:*** *показатель преломления, формула Онсагера-Беттхера, куб онсагеровского радиуса, первое координационное число, радиус первой координационной сферы, функция распределения кластеров по числу частиц.*

***

Для расчета показателя преломления в твердых и жидких диэлектриках с сильным межмолекулярным взаимодействием используют известное соотношение Лоренца-Лорентца [1]:

$$\frac{n^2-1}{n^2+2}=\frac{4}{3}\pi N\alpha_0, \qquad (1)$$

здесь $N_0=1/\upsilon$ – число частиц в единице объема, $\alpha_0$ – средняя поляризуемость молекулы, которая в общем случае является суммой электронной $\bar{\alpha}_e$, дипольной $\bar{\alpha}_{dip}$ и ионной $\bar{\alpha}_{ion}$ поляризуемостей.

Формулу (1) можно считать вполне обоснованной лишь для идеальных сред [2].

В работе [3] Кирквудом учтены флуктуации дипольных моментов индуцированных диполей, возникающие вследствие теплового движения молекул. С учетом поправки Кирквуда на флуктуационный эффект $S_2(\alpha_0,\rho,T)$, квантовой поправки $O(\alpha_0^3)$ и др. эффектов формула Лоренц-Лорентца принимает вид [4]:

$$\frac{n^2-1}{n^2+2}=\frac{4}{3}\pi N_0\alpha_0\left[1+\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0}+\right. \qquad (2)$$
$$\left.+S_2(\alpha_0,\rho,T)+O(\alpha_0^3)\right].$$

Путем введения характерного радиуса a некоторой сферической полости, выделенной в сплошной среде, в рамках теории эффективного поля Онсагером [2] была исключена поправка на флуктуацию индуцированных диполей. Параметр $a^3$ связан со средней поляризуемостью молекул $\alpha$ соотношением Онсагера-Беттхера [2, 5]:

$$\frac{12\pi N_0 n^2}{(n^2-1)(2n^2+1)}=\frac{1}{\alpha}-\frac{1}{a^3}\frac{2(n^2-1)}{2n^2+1}. \qquad (3)$$

Анализ результатов исследований взаимосвязи средних поляризуемостей молекул газов $\alpha_0$ и жидкостей $\alpha$ с онсагеровским радиусом a для веществ с разной структурой молекул позволил Бокову О.Г. [6–8] придти к выводу о том, что онсагеровский радиус зависит от структуры среды. Для расчета его величины им предложена формула

$$a^3=\frac{R_1^6}{1.15Z_1(\alpha_0+a_0^3)}, \qquad (4)$$

в которой $a_0^3=\left(\frac{4}{3}\pi N_0\right)^{-1}$, $N_0$ – число частиц в единице объема, $\alpha_0$ – средняя поляризуемость молекулы, $Z_1$ – первое координационное число, $R_1$ – радиус первой координационной сферы.

Согласно представлениям дырочной модели процесс плавления приводит к разрушению кристаллической структуры вещества. В результате чего первое координационное число (число ближайших соседей) в жидкости $Z_1$ становится меньше, чем в кристалле $Z_0$ и может быть рассчитано по формуле [9]:

$$Z_1=Z_0\left[1+\exp\left\{-\frac{1}{4}\left(\frac{\vartheta}{\vartheta_f}-1\right)\right\}\right]^{-1}. \qquad (5)$$

Здесь $Z_0$ – первое координационное число в кристалле (для благородных газов, простых жидкостей и циклических углеводородов $Z_0$=12), $\upsilon_f$ – свободный объем, $\upsilon$ – объем, приходящийся на одну частицу.

Величину свободного объема можно оценить по формуле

$$\upsilon_f = \frac{k\beta_T}{\alpha_p}, \qquad (6)$$

где $\beta_T$ – изотермическая сжимаемость, $\alpha_p$ – коэффициент теплового расширения жидкости, k – постоянная Больцмана.

Изотермическая сжимаемость может быть рассчитана по известному термодинамическому соотношению:

$$в_T = в_S\left(1 + \frac{б_P^2 u^2 T}{C_P}\right), \qquad (7)$$

в котором $в_s = \left(\rho u^2\right)^{-1}$ – адиабатическая сжимаемость, u – скорость ультразвука в веществе, $C_P$ – изобарная теплоемкость, T – температура жидкости.

Радиус первой координационной сферы для благородных газов, простых жидкостей и циклических углеводородов может быть рассчитан по формуле

$$R_1 = \left[\frac{Z_1}{Z_0} + \chi\right]^{1/3} \upsilon^{1/3}, \qquad (8)$$

в которой $\chi = 0,4144$ – структурный фактор, характерный для ГЦК решетки, которой моделируется структура исследуемых жидкостей.

С помощью формулы (1) по известным значениям показателя преломления n можно рассчитать среднюю поляризуемость $\alpha_0$, по формуле (2) - куб онсагеровского радиуса $a^3$, по формуле (3) - поляризуемость молекулы $\alpha$ для фиксированной температуры. Затем, полагая, что поляризуемость молекулы $\alpha$ постоянной величиной, рассчитав значение $a^3$ для другой температуры по формуле (4) и решив нелинейное уравнение (3), можно определить значение показателя преломления n для других температур.

Представления об эффективной поляризуемости молекул конденсированной среды [10] позволяют расчет показателя преломления жидкости провести по формуле

$$n^2 = 1 + \frac{4\pi}{\upsilon}\alpha_{eff}. \qquad (9)$$

Как видим, проблема сводится к поиску соотношения, описывающего эффективную поляризуемость молекулы среды $\alpha_{eff}$ и её связь с параметрами состояния.

Согласно кластерной модели ближний порядок в жидкости связан с присутствием в ней кластерных образований. Можно предположить, что среднее число частиц в кластере жидкости определяется формулой [11]

$$\bar{Z} = \pi^2 \eta(\eta + 1), \qquad (10)$$

в которой $\eta = \eta_c \rho_* = \frac{3}{4}\xi_c \rho_*$ – коэффициент молекулярной упаковки, $\xi_c = \mu P_c V_c / RT_c$ – фактор сжимаемости в критической точке, $\rho_* = \rho/\rho_c$ – приведенная плотность вещества, $\rho_c$ – критическая плотность вещества, $P_c, T_c, V_c$, – давление, температура и объем в критической точке.

В работах [12, 13] в рамках кластерной модели получено соотношение для расчета эффективной поляризуемости многоатомных молекул жидкости

$$\bar{\alpha}_{eff} = \bar{\alpha}_0\left[1 + \frac{1}{3}\left(\frac{\bar{Z}}{\bar{Z}_{max}}\right)\right], \qquad (11)$$

где $\bar{Z}$ – среднее число частиц в кластере, $\bar{Z}_{max} = 13$ – максимально возможное число частиц в нём.

Подставляя (11) в (10), для показателя преломления жидкости можно получить соотношение:

$$n^2 = 1 + \frac{4\pi}{\upsilon}\alpha_0\left[1 + \frac{1}{3}\left(\frac{\bar{Z}}{\bar{Z}_{max}}\right)\right]. \qquad (12)$$

Для оценки достоверности результатов прогнозирования поведения показа-

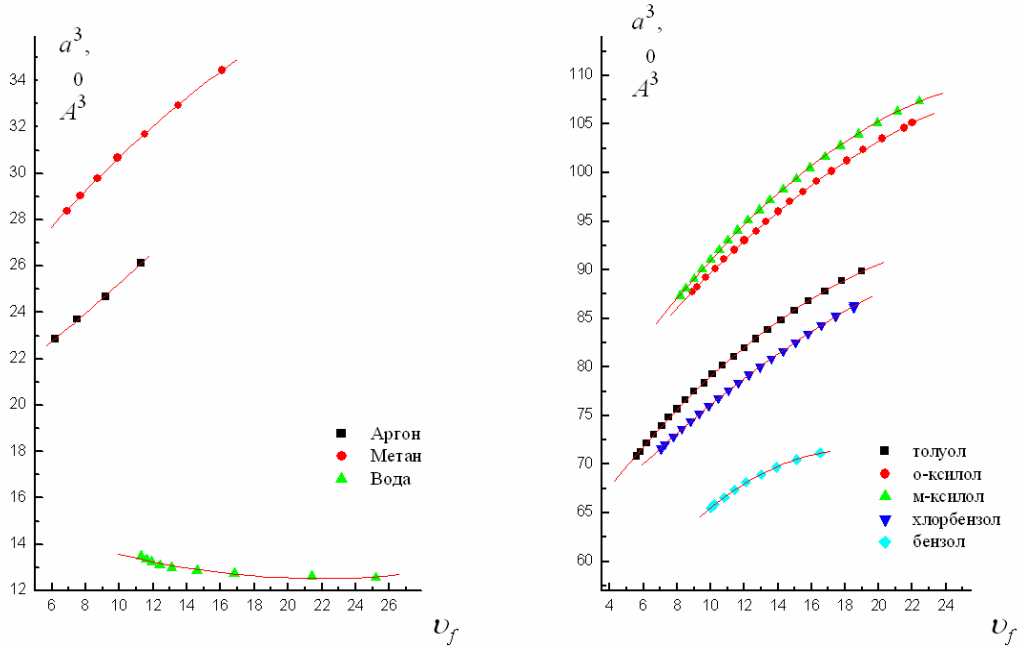
теля преломления жидкостей в зависимости от параметров состояния на базе дырочной и кластерной моделей были исследованы благородные газы, циклические углеводороды и другие жидкости.

Как показывают расчеты, зависимость куба онсагеровского радиуса $a^3$ от температуры для исследованных жидкостей вдоль линии равновесия жидкость – пар представляет собой монотонно возрастающую нелинейную функцию. Характер зависимости величины $a^3$ от свободного объема $\upsilon_f$ (рис.1) зависит от структуры жидкости.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений (табл.), показало, что для исследованных жидкостей наблюдается хорошее согласие величины n с экспериментальными значениями для области температур, прилегающей к фиксированной точке. Расхождение с экспериментом, по-видимому, связано с недостаточной точностью данных о теплофизических свойствах и с имеющей место зависимостью поляризуемости молекулы $\alpha$ от температуры.

Таким образом, для успешного прогнозирования поведения показателя преломления в зависимости от параметров состояния на базе дырочной модели необходимо располагать надежными данными о теплофизических и упругих характеристиках жидкостей в зависимости от параметров состояния и значением показателя преломления вещества при одной из температур.

В рамках кластерной модели на основании (11) представляется возможность расчета эффективной поляризуемости молекул вещества. Температурная зависимость $\alpha_{eff}$ для исследованных жидкостей не обнаруживает никаких особенностей, исключение составляет только вода с сильными водородными связями (рис. 2). Поэтому не представляется возможным в эффективной поляризуемости выделить в отдельности электронную поляризуемость $\alpha_e$ и поляризуемость, связанную с собственным дипольным моментом молекул $\alpha_{dip}$ .




а) б)

Рис.1. Зависимость $a^3$ от свободного объема $\upsilon_f$ для некоторых исследованных жидкостей: а – благородные газы и другие жидкости; б – циклические углеводороды

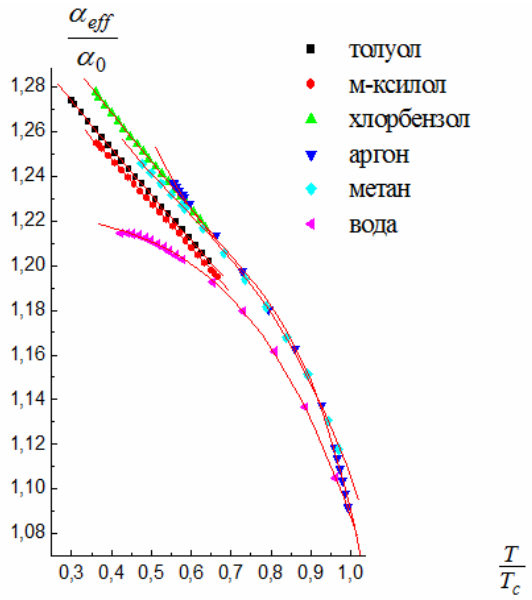



Рис. 2. Зависимость приведенной эффективной поляризуемости молекул от приведенной температуры на линии насыщения для некоторых исследованных жидкостей

Правая часть соотношения (12) является функцией плотности вещества, величина которой определяется экспериментально с высокой точностью и хорошо известна для многих веществ при различных температурах. Поляризуемость свободной молекулы $\alpha_0$ может быть определена по известному значению показателя преломления вещества при какой-либо температуре, в том числе и по данным в газовом или кристаллическом состоянии.

Расхождение величины n с экспериментом во многих случаях меньше, чем в рамках дырочной модели (табл.), однако, $n_{расч}$ сильно зависит от выбора функции распределения кластеров по числу содержащихся в них частиц, на основании которой рассчитывается среднее число частиц в кластере.

Показатель преломления некоторых исследованных жидкостей

| t, $^0$C | $n_{эксп}$ [14-17 ] | $n_{расч}$ | | δ,% | | t, $^0$C | $n_{эксп}$ [14-17 ] | $n_{расч}$ | | δ,% | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | дырочная | кластерная | дырочная | кластерная | | | дырочная | кластерная | дырочная | кластерная |
| **Аргон** | | | | | | | | | | | |
| -189,4 | 1,22832 | 1,22797 | 1,22832 | 0,069 | 0,000 | -169,4 | 1,21219 | 1,212093 | 1,209524 | 0,008 | 0,002 |
| -179,4 | 1,22224 | 1,22224 | 1,22191 | 0,000 | 0,027 | -159,4 | 1,19919 | 1,19795 | 1,19855 | 0,053 | 0,053 |
| **Метан** | | | | | | | | | | | |
| -182,5 | 1,29367 | 1,29300 | 1,29428 | 0,051 | 0,047 | -153,0 | 1,26586 | 1,26660 | 1,26545 | 0,059 | 0,032 |
| -173,0 | 1,28504 | 1,28504 | 1,28547 | 0,000 | 0,033 | -143,0 | 1,25499 | 1,25621 | 1,25428 | 0,097 | 0,057 |
| -163,0 | 1,27583 | 1,27615 | 1,27583 | -0,025 | 0,000 | -133,0 | 1,24334 | 1,24503 | 1,24234 | 0,136 | 0,080 |
| **Вода** | | | | | | | | | | | |
| 20 | 1,33297 | 1,33265 | 1,33252 | 0,024 | 0,034 | 60 | 1,32710 | 1,32745 | 1,32725 | 0,026 | 0,011 |
| 40 | 1,33054 | 1,33054 | 1,33030 | 0,000 | 0,018 | 80 | 1,32299 | 1,32341 | 1,32315 | 0,032 | 0,012 |
| 50 | 1,32892 | 1,32911 | 1,32892 | -0,015 | 0,000 | 100 | 1,31782 | 1,33265 | 1,31821 | 0,024 | 0,030 |
| **Бензол** | | | | | | | | | | | |
| 20 | 1,50111 | 1,50071 | 1,50111 | 0,026 | 0,00 | 50 | 1,48158 | 1,48206 | 1,48158 | 0,032 | 0,061 |
| 30 | 1,49462 | 1,49465 | 1,49502 | -0,002 | 0,028 | 60 | 1,47497 | 1,47563 | 1,47497 | 0,045 | 0,067 |
| 40 | 1,48812 | 1,48840 | 1,48879 | -0,018 | 0,040 | 70 | 1,46825 | 1,46913 | 1,46825 | 0,060 | 0,000 |
| **Толуол** | | | | | | | | | | | |
| 20 | 1,49660 | 1,49650 | 1,49662 | 0,007 | 0,001 | 50 | 1,47943 | 1,47960 | 1,47975 | 0,011 | 0,022 |
| 30 | 1,49089 | 1,49089 | 1,49101 | 0,000 | 0,008 | 60 | 1,47365 | 1,47388 | 1,473648 | 0,016 | 0,000 |
| 40 | 1,48517 | 1,48526 | 1,48538 | -0,006 | 0,014 | 70 | 1,46783 | 1,46812 | 1,467828 | 0,020 | 0,000 |
| **о-ксилол** | | | | | | | | | | | |
| 20 | 1,50531 | 1,50529 | 1,50534 | 0,001 | 0,002 | 50 | 1,48987 | 1,48999 | 1,49010 | 0,010 | 0,015 |
| 30 | 1,50018 | 1,50020 | 1,50027 | -0,001 | 0,006 | 60 | 1,48466 | 1,48485 | 1,48497 | 0,015 | 0,021 |
| 40 | 1,49502 | 1,49511 | 1,49519 | -0,006 | 0,011 | 70 | 1,47940 | 1,47968 | 1,47981 | 0,019 | 0,028 |
| **м-ксилол** | | | | | | | | | | | |
| 20 | 1,49726 | 1,49724 | 1,49725 | 0,001 | 0,001 | 50 | 1,48149 | 1,48151 | 1,48147 | 0,001 | 0,001 |
| 30 | 1,49203 | 1,49202 | 1,49208 | 0,004 | 0,003 | 60 | 1,47614 | 1,47620 | 1,47615 | 0,004 | 0,001 |
| 40 | 1,48677 | 1,48678 | 1,48689 | 0,007 | 0,008 | 70 | 1,47080 | 1,47085 | 1,47080 | 0,004 | 0,000 |

**Выводы.** Сравнение степени достоверности используемых моделей приводит к выводу о том, что кластерная модель в силу малых погрешностей измерения исходных данных точнее воспроизводит характер зависимости оптических свойств от параметров состояния жидкости, однако дырочная модель лучше передает влияние на оптические свойства структуры молекул жидкости.

**Список литературы**

1. Лоренц Г.А Теория электронов и ее изменения к явлениям света и теплового излучения. М.-Л. ,1934.

2. Onsager L. Electric moments of molecules in liquids // J. Amer. Chem. Soc., 1936. V.58. №8. P. 1486-1493.

3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1970.

4. Kirkwood J.G. Of the theory of dielectric polarization // J. Chem. Phys. 1936. Vol.4. №9. P. 592-601.

5. Bötther C.J.F. Theory of Electric Polarisation. Amsterdam: Elsevier. 1973. V.1. P. 377.

6. Боков О.Г. Методы теории универсальных межмолекулярных взаимодействий и их применение в физике диэлектриков, оптике и спектроскопии конденсированных молекулярных сред: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 1978. 29с.

7. Bokov O.G., Naberukhin Yu.I. Application of the Onsager model to the theory of the dielectric constant of nonpolar liquids // Ibid. 1981. Vol. 75, №5. P. 2357-2365.

8. Боков О.Г., Сидоров Н.К. Структурные характеристики простых жидкостей и оптические свойства молекул // Физика жидкого состояния. 1991. – Киев: КГУ. – Вып.19. – С. 98-108.

9. Боков О.Г., Мельников Г.А. Расчет координационных чисел и радиусов первой координационной сферы в простых жидкостях // Журн. структ. химии. 1982. Т.23, №2. С. 51-57.

10. Френкель Я.И., Губанов А.И. Современное состояние теории поляризации // УФН. 1940. № 24. С.68-121.

11. Мельников Г.А., Полянский А.В., Вервейко В.Н. Акустические, структурные и оптические свойства жидкостей в рамках кластерной модели // Наноматериалы и технологии: сб. тр. 2-й науч.-прак. конф. с междунар. участием. Улан-Уде, 2009. С.76-82.

12. Буторин В.М., Полянский А.В., Мельников Г.А. Оптические свойства жидкостей в рамках теории Онсагера-Беттхера и кластерной теории // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: матер. VII Междунар. науч.-техн. конф. Курск, 2010. С. 312–322.

13. Мельников Г.А., Игнатенко Н.М., Полянский А.В. Поляризуемость молекул в рамках кластерной модели вещества // Известия Курск. гос. техн. ун-та. 2010. №4 (33). С. 17–24.

14. Изучение температурной зависимости показателя преломления некоторых органических жидкостей / Р.А. Губарев, А.А. Гуламов, Ю.А. Неручев, А.В. Полянский // Ультразвук и термодинамические свойства вещества. Курск, 1998. С. 6771.

15. Abbis et al. Refractive index and Lorentz-Lorenz function for saturated argon, methan and carbon tetrafluoride // J. Chem. Phys. 1965. 42. P. 4145-4148.

16. Фронтасьев В.П., Шрайбер Л.С. Исследование рефракции и электронной поляризуемости молекул некоторых органических жидкостей в широком интервале температур // Журнал физической химии. 1969. Т. XLIII. №2. С. 425-434.

17. Rubio J.E.F., Taravillo M., Baonza V.G., Nunez J., and Caceres M. Light-scattering study of vibrational relaxation in liquid xylenes. // J. Chem. Phys. 124, 014503 (2006), p. 014503-1 - 014503-9.

*Получено 04.06.12*

**V.V. Serebrovskii,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

**A.V. Polyansky,** Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: polyansky72@gmail.com)

**THE USE OF SIMPLE MODELS TO PREDICT THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE REFRACTIVE INDEX FLUID**

*The possibility of using the hole and cluster models to predict the temperature dependence of the refractive index of the liquid. A comparison of the calculated and experimental data, the advantages and disadvantages of these models.*

***Key words:*** *refractive index, the formula of the Onsager-Böttcher, cube Onsager radius, the first coordination number, the radius of the first coordination sphere, the distribution function of clusters according to the number of particles.*

---

УДК 681.3

**С.С. Шевелев,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: schewelew@mail.ru)

**УСТРОЙСТВО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПОИСКА И ЗАМЕНЫ ВХОЖДЕНИЙ В ОБРАБАТЫВАЕМЫХ СЛОВАХ**

*Разработано устройство параллельного поиска и замены вхождений в обрабатываемых словах, выполняющее поисковую операцию вхождений, при этом вычисляется адрес – местоположение искомых символов. Если работа выполняется в режиме поиска и замены, то осуществляется операция замены.*

***Ключевые слова:*** *сдвигающие регистры, компаратор, конкатенация, итерация, вхождение, замена, пороговые и нейроподобные элементы.*

***

Высокие технологии обработки огромных массивов данных приобретают небывалую востребованность. Стремительный рост числа постреляционных систем управления базами данных, с помощью которых решаются задачи мгновенной обработки запросов к базам, содержащим колоссальные объемы информации. Высокоскоростной доступ к сетевым информационным ресурсам также требует вычислительной мощности и скорости современных устройств для обработки файловой и пакетной информации.

При осуществлении поисковых функций, вхождения могут быть представлены различными комбинациями букв в обрабатываемом слове: нет повтора одинаковых букв (итерации) в обрабатываемом слове; повтор одинаковых букв есть в середине обрабатываемого слова; итерация существует в конце слова, обозначение; итерация в обрабатываемом слове существует в начале слова; итерация в обрабатываемом слове присутствует и в начале слова и в конце; обрабатываемое слово состоит полностью из итераций. В зависимости от вида итераций применяется алгоритм, осуществляющий поисковую операцию вхождения в обрабатываемом слове. Процессы поиска вхождений в обрабатываемом слове можно выполнить как в последовательном, так и в параллельном режимах символьной обработки. Формировать новое слово возможно с помощью операций замены, а так же левой или правой конкатенаций [1]. При выполнении операций поиска вхождений в обрабатываемом слове необходимо достигнуть высокой скорости поиска и замены. Поиск вхождений в обрабатываемом слове может быть осуществлен в двух режимах работы устройства; определение вхождений, имеющих общие части, и определение вхождения без общих частей.

В устройстве применяются оперативные запоминающие устройства, в которых хранится информация. Вхождение, обрабатываемое слово и замена переписываются из памяти в сдвигающие регистры. Процессы записи и считывание информации в регистры могут быть следующие: параллельный ввод – параллельный вывод, используется в регистре

для хранения вхождений, последовательный ввод - последовательный вывод, используется для в регистре для хранения замены, а также последовательный ввод – параллельно-последовательный вывод, используется для хранения в регистре обрабатываемого слова [2].

В устройстве поиск вхождения в обрабатываемом слове выполняется в параллельном режиме. Все символы вхождения и обрабатываемого слова параллельно поступают на входы компараторов. В устройстве параллельного поиска и замены применены три регистра – регистр вхождения, регистр обрабатываемого слова и регистр замены. Количество регистров, в которых хранятся вхождение, обрабатываемое слово и количество компараторов одинаково. Если произошло положительное сравнение символов вхождения и обрабатываемого слова, то на выходе компараторов формируется единичное значение. В этом случае в обрабатываемом слове найдено вхождение. В случае работы устройства в режиме поиска определяется адрес вхождения. Если устройство работает в режиме поиска и замены, то в регистр замены записывается цепочка символов, то есть замена. Обрабатываемое слово остается неизменным при этом режиме работы. Если произошло отрицательное сравнение, то необходимо сдвинуть обрабатываемое слово на один разряд влево и сравнить следующую серию символов, равную по количеству символам вхождения. Процесс сдвига обрабатываемого слова в регистре выполняется до определения признака конца обрабатываемого слова. Символ в результате левого сдвига записывается в регистр замены. В регистр замены записываются символы обрабатываемого слова в результате операции левого сдвига регистра или буквы замены в режиме работы устройства поиска и замены. В устройстве осуществляются операции левой и правой конкатенаций.

Устройство параллельного поиска и замены (рис.) содержит блок 1 памяти вхождений, блок 2 памяти обрабатываемых слов, блок 3 анализа поиска, блок 4 памяти замены, блок 5 замены, блок 6 хранения результата, блок 7 управления.

БПВХ – блок памяти вхождений служит для записи, хранения и выдачи вхождений – цепочки символов, которые необходимо обнаружить в обрабатываемом слове. Этот блок содержит оперативное запоминающее устройство, в котором записаны цепочки символов – вхождения и блок регистров вхождений. Входными информационными данными являются символы вхождений, которые поступают на информационные входы оперативного запоминающего устройства блока памяти. Блок регистров вхождений состоит из универсальных восьмиразрядных регистров сдвига. Выходным информационным сигналом блока является цепочка символов вхождения, которую необходимо обнаружить в обрабатываемом слове. На входы компараторов поступают поразрядно символы вхождений и обрабатываемых слов. Компараторы работают в режиме определения равенства входных величин. Выходной сигнал сравнения блока анализа поиска будет равен единичному значению только в том случае, когда входные величины символов вхождения и обрабатываемого слова будут равны между собой. Единичное значение сигнала означает, что вхождение найдено в обрабатываемом слове. В этом случае формируется адрес вхождения в обрабатываемом слове в режиме поиска или записываются символы замены в регистры блока во втором режиме работы устройства. Если на выходе логической схемы И сигнал сравнения равен нулевому значению, то равенство входных величин на входах компараторов не произошло, в этом случае необходимо сдвинуть обрабатываемое слово на один разряд влево, затем анализировать результат сравнения символов вхождения и следующего фрагмента обрабатываемого слова.

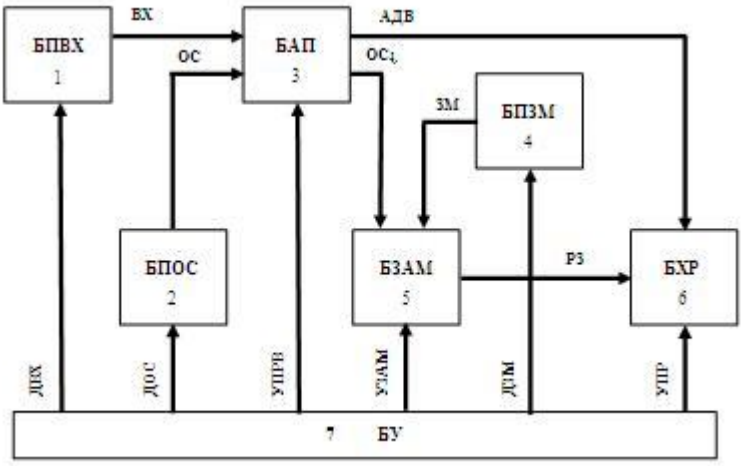



Рис. Структурная схема устройства параллельного поиска и замены вхождений в обрабатываемых словах

БПОС – блок памяти обрабатываемых слов служит для записи, хранения и выдачи обрабатываемых слов, с которыми необходимо проводить поисковые операции. Этот блок содержит оперативное запоминающее устройство, в котором будут записаны обрабатываемые слова, и блок регистров, обрабатываемых слова. Выходной информационный сигнал блока ОС - обрабатываемые слова поступает на вход блока анализа поиска. Блок регистров, обрабатываемых слова, содержит универсальные восьмиразрядные регистры сдвига, логическую схему ИЛИ, выполненную на пороговых элементах. Символы обрабатываемого слова и вхождения поступают на входы компараторов параллельно. Результатом сравнения может быть нулевое или единичное значение выходного с компараторов сигнала. Если на выходе компараторов установилась единица, то операция поиска осуществилась положительно, то есть вхождение обнаружено. В случае получения нулевого значения на выходах компараторов, формируется сигнал сдвига влево на один разряд символов обрабатываемого слова.

При операциях левой или правой конкатенаций к обрабатываемому слову присоединяются слева или справа символы вхождения. Если устройство работает в режиме поиска вхождений в обрабатываемых словах, то при обнаружении символов вычисляются адреса, то есть местоположений вхождений в обрабатываемых словах. В случае работы устройства в режиме поиска и замены осуществляется операция замены. Операция записи замены выполняется в третий регистр - регистр замены. Если вхождение не обнаружено, то символы обрабатываемого слова под управлением сигналов сдвига влево информации на один разряд, записываются так же в третий регистр замены. В третий регистр сдвига будут записаны символы замены в случае обнаружения вхождений в обрабатываемых словах или символы обрабатываемых слов, если на выходах компараторов установился отрицательный результат.

БАП – блок анализа поиска служит для анализа поисковой операции, определения способа поиска вхождения в обрабатываемом слове, а так же определения его адреса. Блок анализа поиска содержит: блок регистров вхождений, блок регистров обрабатываемых слов, схему сравнения, выполненную на нейронах, логическую схему И, комбинационную схему формирования адреса вхождения, комбинационную схему, определяющую режим работы устройства без общих частей. Функции блока анализа поиска заключаются в записи, хранении и выдачи символов вхождений и обрабатываемых

слов, в поразрядном сравнении этих символов в компараторах, формировании адреса вхождений в обрабатываемых словах, а так же определении режима работы устройства без общих частей. Адрес вхождения формируется из суммы сигналов сдвига влево, вначале при загрузки символов вхождения, затем при сравнении, сигнала сдвига регистра обрабатываемого слова. Количество сигналов сдвига влево регистра вхождения поступают на суммирующий вход двоичного счетчика, что будет соответствовать количеству символов вхождения. На выходе двоичного счетчика будет сформирован адрес вхождения в обрабатываемом слове, то есть местоположения определенного фрагмента в полной цепочке символов обрабатываемого слова. Комбинационная схема, определяющая режим работы устройства без общих частей, содержит: логическую схему И, суммирующий двоичный счетчик, вычитающий счетчик, логическую схему ИЛИ. Режим работы устройства без общих частей производит поиск в обрабатываемых словах, не имеющих общих символов между предыдущим и последующим вхождениями. Для выполнения этого режима работы необходимо сдвинуть обрабатываемое слова влево на количество букв вхождения.

БПЗМ – блок памяти замены служит для записи, хранения и выдачи символов замены в регистры блока регистров результата замены. Блок памяти замены содержит оперативное запоминающее устройство. В памяти блока записаны цепочки символов, которые записываются в блок замены, если устройство работает в режиме поиска и замены. В случае положительного сравнения цепочки символов вхождения и обрабатываемого слова, символы замены будут записаны в регистр блока замены.

БЗАМ – блок замены служит для выполнения операций записи символов обрабатываемого слова и замены в регистры блока. Блок замены содержит блок регистров замены, системы электронных ключей И, систему логических элементов ИЛИ, блок регистров результата замены. Функция этого блока заключается в управлении операцией записи в блок регистров результата замены символа обрабатываемого слова, если на выходе схемы сравнения установлено нулевое значение или букв замены, в случае положительного сравнения входных величин в компараторах устройства в режиме работы поиска и замены. Операция замены осуществляется в случае, если устройство работает в режиме поиска и замены и при обнаружении символов вхождения в обрабатываемом слове. Блок регистров замены содержит универсальные восьмиразрядные регистры сдвига. В режиме поиска и замены, а так же левой или правой конкатенаций, символы замены записываются из блока памяти замены в регистры блока регистров замены. Если в обрабатываемом слове обнаружено вхождение, то необходимо в регистры блока регистров результата замены записать замену – цепочку символов. Блок регистров результата замены содержит универсальные восьмиразрядные регистры сдвига. В режиме поиска и замены символы замены записываются в регистры блока. В случае выполнения операций левой или правой конкатенаций в регистры блока записываются символы обрабатываемого слова и замены. В режиме поиска записываются символы обрабатываемого слова. Выходным информационным сигналом блока является двоичный код символов результата замены.

БХР – блок хранения результатов служит для записи и хранения в нем адресов вхождений в обрабатываемых словах и результатов выполнения операций замены. Этот блок содержит логическую схему ИЛИ, двоичные счетчики, формирующие адреса строк и столбцов, оперативное запоминающее устройство. Входными информационными сигналами блока являются: адрес вхождения и результаты замены. Если устройство работает в режиме поиска вхождений, то будут записаны адреса вхождений. Если устрой-

ство работает в режиме поиска и замены, то в оперативное запоминающее устройство будут записаны результаты замены.

БУ - блок управления служит для генерации управляющих и информационных сигналов устройства.

Устройство параллельного поиска и замены вхождений в обрабатываемых словах выполняет основные задачи по поиску и замене вхождений в обрабатываемых словах, а также формированию новых словоформ, используя левую и правую конкатенации. Это устройство разработано как специализированный вычислительный модуль, в ее состав входят пороговые и нейроподобные элементы. Это устройство может работать в вычислительной системе, которая состоит из специализированных модулей, объединенных единым интерфейсом.

1. Марков А.А., Нагорный Н.М. Теория алгорифмов. М.: Наука, 1984. 432 с.

2. Пат. № 2296366. Устройство параллельного поиска и замены вхождений в обрабатываемых словах / Шевелев С.С.

*Получено 20.07.12*

**S.S.Shevelev,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)) (e-mail: schewelew@mail.ru)

**DEVICE OF PARALLEL SEARCHING FOR AND CHANGE THE ENTERING IN PROCESSED WORD**

*The Designed device of parallel searching for and change the entering in processed word, executing search operation of the entering is herewith calculated address - a location sought symbol if work is executed in mode of searching for and change, that is realized operation of the change.*

***Key words:*** *shifting registers, comparer, catenation, iteration, entering, change, thresholds and neurons elements.*

УДК 004.9

**А.В. Кониченко,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел. (4712) 58-71-22)

**С.В. Дедов,** научный сотрудник НИЦ (Курск) ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ (e-mail: dserg@bk.ru)

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА В ИНТЕРЕСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ СИЛАМИ И СРЕДСТВАМИ ГО И ЧС**

*В статье проведен анализ методов формирования цифровых моделей рельефа для обеспечения органов управления силами и средствами ГО и ЧС. Обоснованы наиболее рациональные методы.*

***Ключевые слова:*** *метод, цифровой рельеф местности, топографическая карта.*

***

В настоящее время одним из наиболее важных видов геопространственных данных являются цифровые модели рельефа (ЦМР). Под цифровой моделью рельефа (ЦМР), в соответствии с [1], будем понимать средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей или рельефов) в виде трехмерных данных, образующих множество высотных отметок (отметок глубин) и иных значений аппликат (координаты Z) в узлах регулярной или нерегулярной сети или совокупность записей горизонталей (изогипс, изобат) или иных изолиний.

ЦМР как входит в состав (цифровые топографические карты, цифровые планы городов, цифровые модели местности и др.), так и используется при формировании большого количества видов геопространственных данных (цифровые ортофотопланы, матрицы плановых изображений и др.) [2].

Он используется органами управления силами и средствами ГО и ЧС при

решении широкого спектра задач, в том числе:

– расчет уровней и площадей затопления;

– анализ поверхностного стока;

– оценка зон видимости / невидимости с заданной точки (точек) обзора (анализ видимости/невидимости);

– трехмерная визуализация рельефа;

– определение зон радиовидимости;

– оценка проходимости местности для различных видов техники;

– получение информации о морфометрических показателях (высота, угол наклона, экспозиция склона) в любой точке модели;

– генерация сети тальвегов и водоразделов.

– и многие другие.

В современных условиях для геопространственного обеспечения органов управления силами и средствами ГО и ЧС требуется наличие ЦМР, соответствующих не только территории ЧС, но и прилегающих территорий.

В данной работе осуществляется сравнительный анализ методов формирования ЦМР для удовлетворения потребностей органов управления силами и средствами ГО и ЧС.

Наиболее существенными параметрами при сравнении методов формирования ЦМР являются:

– точность определения значений абсолютной высоты – является основным показателем, определяющим качество ЦМР, и оценивается по расхождениям положения контуров, высот точек, рассчитанных по модели, с данными контрольных измерений;

– возможность получения исходных данных на труднодоступные территории;

– оперативность формирования ЦМР;

– стоимость закупки исходных данных для формирования ЦМР;

– требования к квалификации исполнителей.

Основными источниками исходных данных о рельефе являются: геодезические работы и топографическая съемка местности, стереофотограмметрическая обработка фототеодолитных, аэро- и космических снимков, альтиметрическая съемка (рельеф суши), промерные работы и эхолотирование подводного рельефа акваторий океанов и внутренних водоемов, радиолокационная съемка рельефа ледникового ложа и небесных тел, топографические карты и планы [1].

В настоящее время используются следующие методы (и их комбинации) формирования ЦМР [1, 2]:

– метод формирования ЦМР по материалам полевой съёмки;

– метод экстракции высот с данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ);

– метод оцифровки (цифрование) картографических материалов.

Глобальные системы позиционирования, дающие возможность получать координаты с высокой точностью, в сочетании с портативными ЭВМ (или карманными персональными компьютерами) со специализированным программным обеспечением обработки данных позволяет использовать их для полевых съемок. Основным достоинством данного метода является высокая точность. К недостаткам следует отнести большую трудоемкость, высокие требования к квалификации исполнителей, значительные затруднения при проведении съемки в труднодоступных и труднопроходимых, а также значительную зависимость от погодных условий. Кроме того, выполнение полевых измерительных работ исключает их использование при формировании ЦМР значительные территории.

Получение ДЗЗ производится с использованием различных типов датчиков с летательных воздушных и космических аппаратов. Использование ДЗЗ, получаемых со средств воздушного базирования, позволяет формировать ЦМР с высокой точностью, однако в подавляющем большинстве случаев оформление разрешающих документов на выполнение съемки достигает нескольких месяцев. Применение космических аппаратов лишено ука-

занного недостатка, однако, и точность формирования ЦМР ниже. Отсутствие современных отечественных спутников, позволяющих получать необходимые для построения ЦМР (соответствующих по точности топографическим картам масштаба 1:25 000 и точнее) данные, предполагает их закупку у зарубежных компаний, что, во-первых, является достаточно дорогостоящим, во-вторых, требует дополнительных временных затрат на оформление заказа съемки и получение ее результатов (этот срок достигает от нескольких дней, до нескольких недель, и не гарантирует поставку необходимых данных. В условиях городской застройки или высокой залесенности (при стопроцентной сомкнутости крон древостоя) полученная ЦМР будет отражать геометрию зданий и сооружений или полога леса. К недостатком данной группы методов также следует отнести высокие требования к квалификации исполнителей, выполняющих обработку ДЗЗ.

В настоящее время основным источником данных для ЦМР являются картографические материалы (КМ) (географические карты и атласы, топографические карты и планы, морские навигационные или топобатиметрические карты для ЦМР акваторий и др.) [1]. На современных картах суши рельеф изображен совокупностью трех средств картографической выразительности с разной пространственной локализацией элементов: системой изолиний (горизонталей, изогипс), множеством отметок высот и микроформы рельефа – совокупностью точечных внемасштабных, линейных и площадных знаков, дополняющих изображение рельефа горизонталями (знаки оврагов и промоин, сухих участков рек, обрывов, бровок, оползней, осыпных участков, скал, карстовых воронок, курганов, наледей, ледников и т.д.).

В связи с тем, что метод оцифровки КМ является наиболее распространенным [2], рассмотрим его более детально. Процесс создания ЦМР на основе исходного КМ можно представить последовательностью выполнения следующих операций [2]:

– сканирование КМ (в случае бумажной копии);

– геокодирование КМ в требуемой системе координат;

– подготовка изображения картографического материала в виде растровой копии, разделенной по слоям содержания;

– идентификация дискретных, линейных и площадных объектов местности по элементам содержания с регистрацией соответствующей им семантической информации;

– снятие метрической информации об указанных объектах;

– обработка полученной информации и занесение информации о каждом объекте в, соответствующий классу данного объекта, сегмент памяти;

– проверка качества.

Наиболее трудоемкими являются операции 3 – 7. Данные операции выполняются с использованием программных продуктов, обладающих широким спектром инструментов для работы как с растровыми изображениями, так и с векторными объектами. Наиболее распространенными в России являются Easy Trace, MicroStation, ГИС Карта. Однако использованию данных средств для реализации вышеуказанных операций (3 – 7) присущ ряд недостатков [2]:

– низкая степень автоматизации, обусловленная выполнением большого числа однотипных операций, параметры выполнения каждой из которых эмпирически определяются оператором;

– отсутствие возможности распознавания текстовых подписей на КМ (при этом применение средств распознавания текста, например, FineReader, не позволяет их использовать для целей формирования ЦМР);

– ручная векторизация микроформ рельефа (за исключением точечных внемасштабных знаков);

– ручная векторизация горизонталей при их искусственном слиянии, в случае,

когда величина их заложения не укладывается в установленные графические пороги;

– высокая длительность выполнения операций по обработке растровых изображений, обусловленная отсутствием поддержки вычислений с использованием графических процессоров;

– низкий уровень автоматизации контроля качества при наличии большого количества микроформ рельефа.

Основным недостатком данного метода является низкая актуальность КМ, однако рельеф местности, как правило, неизменен в течение длительного периода времени. Кроме того, применение данного метода для обеспечения ЦМР значительных территорий требует больших трудозатрат.

Несомненным преимуществом применения данного метода наличие большого количества картографических материалов, низкие требования к квалификации специалистов (по сравнению с вышеописанными) и высокая оперативность формирования ЦМР (по сравнению с вышеописанными).

Результаты сравнительного анализа методов формирования ЦМР, соответствующего карте масштаба 1:25000, приведены в таблице [2][1].

**Выводы:**

Проведенный анализ методов формирования ЦМР для обеспечения органов управления силами и средствами ГО и ЧС показал, что наиболее целесообразно применять:

– методы формирования ЦМР по материалам полевой съемки и экстракции высот с ДЗЗ при условии заблаговременной подготовки актуальных высокоточных ЦМР на заданные территории;

Сравнительный анализ методов формирования ЦМР

| Параметры | Метод формирования ЦМР по материалам полевой съёмки | Метод экстракции высот с данных ДЗЗ | | Оцифровка КМ |
|---|---|---|---|---|
| | | воздушных аппаратов | космических аппаратов | |
| Актуальность | соответствует дате съемки | соответствует дате съемки | соответствует дате съемки | соответствует КМ |
| Точность, м | очень высокая | высокая* | высокая* | соответствует КМ |
| Стоимость закупки исходных данных | очень высокая | средняя | средняя | низкая |
| Оперативность получения исходных данных | очень низкая | низкая | средняя | очень высокая |
| Возможность получения исходных данных на труднодоступные территории | практическая возможность отсутствует | может быть ограничена погодными условиями | может быть ограничена политикой поставщиков ДЗЗ | ограничена наличием КМ |
| Оперативность формирования ЦМР | очень высокая | средняя | средняя | низкая |
| Требования к квалификации исполнителей | очень высокие | высокие | высокие | низкие |

* с учетом использования опорных точек или опорного рельефа.

[1] 1. Сметные укрупненные расценки на топографо-геодезические работы СУР-2002. Введены в действие с 1 января 2003 г. приказом Федеральной службы геодезии и картографии России от «24» декабря 2002 года № 196-пр.

2. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов ГКИНП (ГНТА)-02-036-02 Утверждена приказом руководителя Федеральной службы геодезии и картографии России от 11 июня 2002 г. № 84-пр.

– метод оцифровки КМ для оперативного формирования ЦМР на территорию ЧС, однако следует учитывать, что применение данного метода для значительных территорий требует больших трудозатрат.

Перспективным, таким образом, представляется проведение исследований и разработки средств и методов формирования ЦМР, учитывающих специфику обработки КМ, что позволит сократить временные затраты на создание ЦМР.

1. Геоинформатика: учеб. для студ. вузов / Е.Г.Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов [и др.]; под ред. В.С. Тикунова. М.: Издательский центр "Академия", 2005. 480 с.

2. Хромых В.В., Хромых О.В.Цифровые модели рельефа: учеб. пособие. Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007. 178 с.

*Получено 16.06.12*

**A.V. Konichenko,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (tel. (4712) 58-71-22)

**S.V. Dedov,** Researcher, Federal State Unitary Enterprise «18 Central Scientific Research Institute» of the Ministry of Defense of the Russian Federation (e-mail: dserg@bk.ru)

**THE ANALYSIS OF METHODS OF CREATION OF DIGITAL TERRAIN MODELS IN INTERESTS OF PROVIDING GOVERNING BODIES FORCES AND MEANS OF CIVIL DEFENCE AND EMERGENCIES**

*The analysis of methods of creation of digital terrain models in interests of providing governing bodies forces and means of civil defense and emergencies. The most rational methods are proved.*

***Key word:*** *method, digital terrain model, topographic map.*

---

УДК 621.31

**А.П. Локтионов,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: loapa@mail.ru)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ТРЁХФАЗНОЙ КАБЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ СО СТУПЕНЧАТОРЕГУЛИРУЕМЫМ РЕАКТОРОМ**

*Исследуется определение параметров изоляции трёхфазной кабельной электрической сети с заземляющим дугогасящим ступенчаторегулируемым реактором, в том числе определение максимального ёмкостного тока однофазного замыкания на землю. Для расширения количества рассчитываемых параметров сети разработана математическая модель сети при подключении между одной из фаз сети и землёй дополнительной ёмкости в промежутках времени между очередными компенсациями ёмкостного тока однофазного замыкания сети на землю.*

***Ключевые слова****: кабельная электрическая сеть, короткое замыкание, ёмкостной ток.*

***

**Введение**

Способы определения максимального ёмкостного тока однофазного замыкания на землю в основном используют перестраивание ответвлений реактора, а также подключение между одной из фаз сети и землёй дополнительной ёмкости. В первом варианте при перестраивании ответвлений реактора строят кривую зависимости напряжения смещения нейтрали от настройки реактора и по полученной кривой производят определение максимального ёмкостного тока однофазного замыкания на землю [1]. Этот способ имеет недостатки: реализация способа весьма сложна из-за необходимости большого количества перестроек ответвлений реактора и измерений, необходима аппроксимация кривой в области резонансной настройки для определения значения резонансного тока по максимуму напряжения смещения нейтрали, аппроксимация кривой сопряжена с погрешностью аппроксимации.

Во втором варианте при периодической компенсации ёмкостного тока однофазного замыкания сети на землю подключают между одной из фаз сети и зем-

лёй дополнительную ёмкость, выполняют первое измерение напряжения смещения нейтрали $U_{0m}$ при m = 1 для используемого состояния перестройки реактора, затем перестраивают ответвления реактора и выполняют второе измерение напряжения смещения нейтрали $U_{0m}$ при m = 2 максимальный емкостной ток сети определяют по формуле

$$I_c = \left(I_{k2} - I_{k1} U_{01}/U_{02}\right)/\left(1 - U_{01}/U_{02}\right), \quad (1)$$

где $I_{k1}$, $I_{k2}$ – значения установленных токов компенсации для используемых первого и второго состояний перестройки реактора [1]. Однако этот способ также обладает невысокой точностью и малыми функциональными возможностями. В нём ток замыкания на землю определяется только при очередной компенсации ёмкостного тока однофазного замыкания сети на землю и не определяется ток замыкания в промежутках между компенсациями при возможных изменениях сети. В способе накладывается ограничение на диапазон перестройки ответвлений реактора, диапазон перестройки должен быть в непрерывно возрастающей либо в непрерывно убывающей области зависимости напряжения смещения нейтрали от настройки реактора. В способе значение тока замыкания на землю определяется с учетом временно подключённой дополнительной ёмкости и не делается поправка на отключение этой емкости после очередной компенсации. Кроме того, способ не позволяет определять степень расстройки компенсации, тем более с учетом знака, как один из основных параметров компенсации ёмкостного тока в промежутках времени между очередными компенсациями, которые согласно [1] проводятся с периодичностью не реже одного раза в 6 лет.

**Постановка задачи исследования**

В настоящее время недостаточно разработаны методы экспериментального определения степени расстройки компенсации ёмкостного тока

$$v = 1 - 1/\left(\omega^2 LC\right) \quad (2)$$

и коэффициента успокоения сети

$$d = g_k/\omega C. \quad (3)$$

Здесь приняты обозначения: $C = C_A + C_B + C_C$ – суммарная ёмкость фаз относительно земли, $g_k$ – реактивная проводимость реактора, L – индуктивность реактора, ω – круговая частота сети. В рамках работы предлагается подход определения указанных параметров сети, основанный на дополнительных совместных измерениях электроизмерительными приборами доступных параметров сети в промежутках времени между очередными компенсациями емкостного тока однофазного замыкания на землю.

**Определение емкости сети момент компенсации**

При проведении очередной компенсации ёмкостного тока однофазного замыкания сети на землю временно подключают дополнительную эталонную ёмкость, например, емкость $\Delta C_{A1}$ в фазе А сети, в качестве которой можно использовать фазу резервной кабельной линии. При первом (исходном) состоянии настройки заземляющего дугогасящего ступенчаторегулируемого реактора производят первые совместные измерения величин напряжения смещения нейтрали $U_{01}$, фазного напряжения $U_{Ф1}=U_{A1}$, тока через реактор $I_{k1}$, угла $(\varphi_{UAIk})_1$ сдвига по фазе фазного напряжения $U_{A1}$ сети в фазе А с дополнительной ёмкостью $\Delta C_{A1}$ относительно тока $I_{k1}$ через реактор, угла $(\varphi_{U0Ik})_1$ сдвига по фазе напряжения $U_0$ смещения нейтрали относительно тока $I_{k1}$ через реактор, частоту сети $f_1$. Производят переход во второе состояние настройки реактора перестройкой его ответвлений. При втором состоянии настройки реактора производят вторые совместные измерения величин напряжения $U_{02}$ смещения нейтрали, фазного напряжения $U_{Ф2}=U_{A2}$, тока через заземляющий реактор $I_{k2}$, угла $(\varphi_{U0Ik})_2$ сдвига по фазе напряжения смещения нейтрали относительно тока через реактор, угла

$(\varphi_{UAIk})_2$ сдвига по фазе фазного напряжения $U_{Ф2}=U_{A2}$ сети в фазе А с дополнительной ёмкостью $\Delta C_{A1}$ относительно тока $I_{k2}$ через реактор, частоту сети $f_2$. Здесь и далее подстрочный индекс «1» или «2» при символах параметров указывают на принадлежность символа соответственно к состоянию сети при первой и второй настройке реактора. После выполнения указанных экспериментов дополнительную ёмкость $\Delta C_{A1}$ отключают.

Данный измерительный алгоритм основан на предлагаемой математической модели сети при настройках реактора:

$$\varphi_{Ikm} = -\left(\varphi_{UAIk}\right)_m, \qquad m = 1; 2; 3,$$

$$\varphi_{U0m} = -\left(\varphi_{UAIk}\right)_m + \left(\varphi_{U0Ik}\right)_m$$

$$m = 1; 2; 3,$$

$$\underline{Y}_{cm} = \left(\underline{I}_{k1} - \underline{I}_{k2}\right)/\left(\underline{U}_{02} - \underline{U}_{01}\right)$$

$$m = 1; 2,$$

$$\Delta\underline{Y}_{Am} = -\left(\underline{Y}_{cm}\,\underline{U}_{01} + \underline{I}_{k1}\right)/U_{фm}$$

$$m = 1; 2,$$

$$\Delta C_{Am} = \Delta y_{Am}\Big/\left(2\pi f_m\sqrt{1+\left(d_{cm}f_{ном}/f_m\right)^2}\right)$$

$$m = 1; 2; 3,$$

$$b_{km} = \left(I_{km}/U_{0m}\right)\Big/\sqrt{1+\left(d_{km}f_{ном}/f_m\right)^2}$$

$$m = 1; 2; 3, \qquad (4)$$

где $d_{cm}$ – коэффициент успокоения сети без учета реактора при номинальной частоте питания; $d_{km} = \left(g_{km}/b_{km}\right)_{fном}$ – тангенс угла потерь реактора при номинальной частоте питания; f – частота сети; b, g и y – соответственно реактивная, активная и полная проводимость; $\underline{I}$, $\underline{U}$ и $\underline{Y}$ – соответственно комплексный ток, напряжение и полная проводимость. Здесь и далее подстрочный индекс m = 1; 2; 3 при символах параметров указывает на состояние сети соответственно для первой, второй настройках реактора при очередной компенсации емкостного тока однофазного замыкания сети на землю и между очередными компенсациями; подстрочный индекс "*c*" при символах параметров указывает на состояние сети без учета реактора; подстрочный индекс "*k*" при символах параметров указывает на то, что они относятся к реактору.

Решая систему уравнений (4), получаем формулы вычисления коэффициента успокоения сети без учета реактора при номинальной частоте питания и емкости сети в момент компенсации емкостного тока однофазного замыкания сети на землю

$$d_{cm} = \left(g_{cm}/b_{cm}\right)_{fном},$$

$$C_m = y_{cm}\Big/\left(2\pi f_m\sqrt{1+\left(d_{cm}f_{ном}/f_m\right)^2}\right). \qquad (5)$$

Определение дополнительных параметров сети по результатам очередной компенсации ёмкостного тока однофазного замыкания сети на землю.

Дополнительные к системе уравнений (4) соотношения

$$b_{cm+} = b_{cm} - \Delta b_{Am},$$

$$\Delta b_{Am} = 2\pi f_m \Delta C_{Am} \qquad (6)$$

позволяют по результатам первых и вторых совместных измерений величин напряжений, тока, фазовых углов и частоты вычислить емкостную асимметрию сети

$$\alpha_m = \Delta b_{Am}/b_{cm}, \qquad (7)$$

степень расстройки компенсации

$$v_{m+} = \left(b_{cm+} - b_{km}\right)/b_{cm+} \qquad (8)$$

и максимальный ёмкостный ток

$$\left(I_{cm+}\right)_{fном,Uном} = 2\pi f_{ном} C_{m+} U_{фном} \qquad (9)$$

однофазного замыкания сети на землю при номинальной частоте $f_{ном}$ и напряжении $U_{ном}$ сети. Подстрочный индекс "+" при символах параметров указывает на состояние, непосредственно следующее за отключением дополнительной ёмкости в фазе А сети.

### Определение параметров сети в промежутках времени между очередными компенсациями ёмкостного тока однофазного замыкания сети на землю

В промежутках времени между очередными компенсациями при необходимости уточнения параметров сети, не изменяя настройки заземляющего реактора, снова подключают дополнительную эта-

лонную ёмкость, например косинусный конденсатор, или фазу резервной кабельной линии с известными параметрами, или фазу резервной кабельной линии емкостью $\Delta C_{A1}$, использованную при предыдущей компенсации, параметры которой были определены в процессе реализации рассматриваемого метода. Производят совместные измерения величин напряжения смещения нейтрали $U_{03}$, фазного напряжения $U_{Ф3}=U_{A3}$, тока $I_{k3}$ через реактор, угла $(\varphi_{U0Ik})_3$ сдвига по фазе напряжения смещения нейтрали $U_{03}$ относительно тока через заземляющий реактор, угла $(\varphi_{UAIk})_3$ сдвига по фазе фазного напряжения сети в фазе А с дополнительной эталонной ёмкостью относительно тока через реактор, частоту сети $f_3$. Для требуемых измерений используются два трансформатора напряжения, трансформатор тока, два вольтметра, амперметр, частотомер и фазометр [2].

В математическую модель сети вводим специфические для рассматриваемого состояния сети соотношения

$$\varphi_{c3} = -\operatorname{arctg}\left(\left(f_{ном}/f_3\right)d_{c3}\right),$$

$$\Delta y_{A3} = 2\pi f_3 \Delta C_{A3}\sqrt{1+\left(d_{c3}f_{ном}/f_3\right)^2},$$

$$\underline{Y}_{c3} = -\left(\underline{I}_{k3} + U_{ф3}\Delta\underline{Y}_{A3}\right)\Big/\underline{U}_{03} \qquad (10)$$

и с учетом ранее полученных соотношений вычисляем параметры сети в рассматриваемом состоянии по формулам (7), (8) и (9).

**Заключение**

Расширение измерительных параметров, введение в математическую модель кабельной сети экспериментально-рассчетных соотношений, учитывающих состояние сети не только в процессе очередной компенсации емкостного тока однофазного замыкания сети на землю, но и состояния, непосредственно следующего за отключением дополнительной ёмкости в сеть, а также состояния между очередными компенсациями, обеспечивает возможность экспериментально-рассчетным методом определять емкостную асимметрию сети, степень расстройки компенсации и максимальный ёмкостный ток однофазного замыкания сети на землю в эксплуатационных условиях.

1. Типовая инструкция по компенсации ёмкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ, ТИ 34-70-070-87. М.: СПО Союзтехэнерго, 1988. 55 с.

2. Пат. 2270456 РФ МПК G 01 R 27/18. Способ определения максимального емкостного тока однофазного замыкания на землю в трехфазной кабельной электрической сети с компенсированной заземляющим дугогасящим ступенчаторегулируемым реактором нейтралью / Локтионов А. П. [и др.] (РФ). Курск. гос. техн. ун-т (РФ). № 2004104493/28; Заяв. 16.12.2004; Опубл. 20.02.2006, Бюл. № 5. 12 с.

*Получено 20.06.12*

**A.P. Loktionov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: loapa@mail.ru)

**ДЕТЕСТION SHORT CIRCUIT THE ELECTRICAL CABLE NETWORK WITH A STEPPED ADJUSTABLE REACTOR**

*The study of the detection of three-phase short circuit insulation power cable with a stepped variable reactor, including the determination of the maximum current of single-phase ground fault. In the mathematical model, the network increased the number of options when connecting between one phase and the ground network of additional capacitors in the time intervals between the compensation.*

***Key words:*** *electrical network, short circuit, capacitive current.*

УДК 681.5.01

**Р.А. Томакова,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail tomakova@rambler.ru)

**С.А.Ф**илист, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: sfilist@gmail.com)

**Яа Зар До,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: sfilist@gmail.com)

# УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ БИОМЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

*В статье рассматривается модель универсальной структуры неоднородной нейронной сети для двумерного пространства информативных признаков биомедицинских данных. Предложен способ аппроксимации признакового пространства с использованием нечетких функций принадлежности определенного вида. Построена аппроксимирующая модель для сетевой структуры, позволяющая классифицировать биомедицинские данные.*

***Ключевые слова:*** *нечеткие нейронные сети, аппроксимация функций, система линейных неоднородных уравнений, функции принадлежности.*

***

Большинство задач медицинской диагностики сводится к выбору из двух альтернатив: «здоров» - «болен» или «диагноз подтвержден» - «диагноз не подтвержден». Эта хорошо известная задача классификации двухальтернативной выборки. Так как признаковое пространство в системах биомедицинского назначения имеет достаточно сложную конфигурацию, то при ее решении необходимо использовать нелинейные аппроксимирующие функции. В качестве синтезаторов нелинейных аппроксимирующих функций целесообразно использовать нейронные сети. Так как задачи распознавания в биомедицинских системах достаточно разнообразны и имеют множества альтернативных решений, то желательно иметь некую универсальную сетевую структуру, позволяющую объединить достоинства обучаемых систем и систем, классификация в которых осуществляется на основе экспертных технологий.

В настоящее время существуют многочисленные варианты нейронных сетей, обладающих свойствами универсальных аппроксиматоров функций многих переменных. Нейронные сети построены таким образом, что могут вычислять линейные функции, нелинейные функции одной переменной, а также всевозможные суперпозиции функций, получаемые при каскадном соединении сетей. Работа такого аппроксиматора построена на основе теоремы Колмогорова, согласно которой любая непрерывная функция n переменных $f$ ,заданная на единичном кубе n – мерного пространства $I^n = I \times I \times ...I$ , может быть представлена в виде

$$f(x_1, x_2, ..., x_n) = \sum_{q=1}^{2n+1} h_q \left[ \sum_{p=1}^{n} \varphi_q^p(x_p) \right], \qquad (1)$$

где функции $h_q(u)$ непрерывные функции одной переменной, а функции $\varphi_q^p(x_p)$ – фиксированные возрастающие, непрерывные, определенные на $I = [0,1]$ функции, кроме того, еще и стандартны, т.е. не зависят от выбора функции $f$ [1].

Для реализации (1) в состав нейронной сети должны входить нелинейный преобразователь сигналов, нелинейный адаптивный сумматор и блок ветвления, позволяющий осуществлять рассылку одного и того же сигнала по нескольким адресам. Нейронная сеть, построенная согласно уравнению (1), является неоднородной нейронной сетью. На рис.1 представлена модель универсальной структуры нейронной сети, построенная на основе уравнения (1), в пространстве двух переменных.

Представление универсального аппроксиматора, представленного формулой (1), можно улучшить. В частности, было показано, что функции $h_q$ можно заменить на одну универсальную непре-

рывную функцию h, которую можно представить в виде абсолютно сходящегося ряда Фурье, а функции $\varphi_q^p(x_p)$ можно «расщепить» на произведения $\ell_p\varphi_q$, где ($\ell_p$, p = 1,2,..., n) — рациональные независимые числа, а $\varphi_q$, (q = 1,2,..., 2n + 1) — непрерывные неубывающие функции на I = [0,1]. Тогда, представление любой непрерывной функции $f \in C\left[I^n\right]$ можно переписать в виде

$$f(x_1, x_2, ..., x_n) = \sum_{q=1}^{2n+1} h \left[ \sum_{p=1}^{n} \ell_p \cdot \varphi_q(x_p) \right]. \quad (2)$$

На рис.2 показана сетевая структура, соответствующая формуле (2). Она похожа на многослойную нейронную сеть, которую, однако, почти невозможно реализовать на практике. Основная проблема заключается в том, что функции $\varphi_q$ в формуле (2) непрерывны, но не являются гладкими. Поскольку длина машинного кода функции обратно пропорциональна ее гладкости, мы получим очень плохую точность реализации колмогоровского представления.

Кроме того, хорошее сетевое представление должно иметь фиксированные элементы и изменяемые параметры. Сеть (рис. 2) не является сетью такого типа: форма h зависит от функции f, которую необходимо представить (функции $\varphi_q$ не зависят от f) [1].

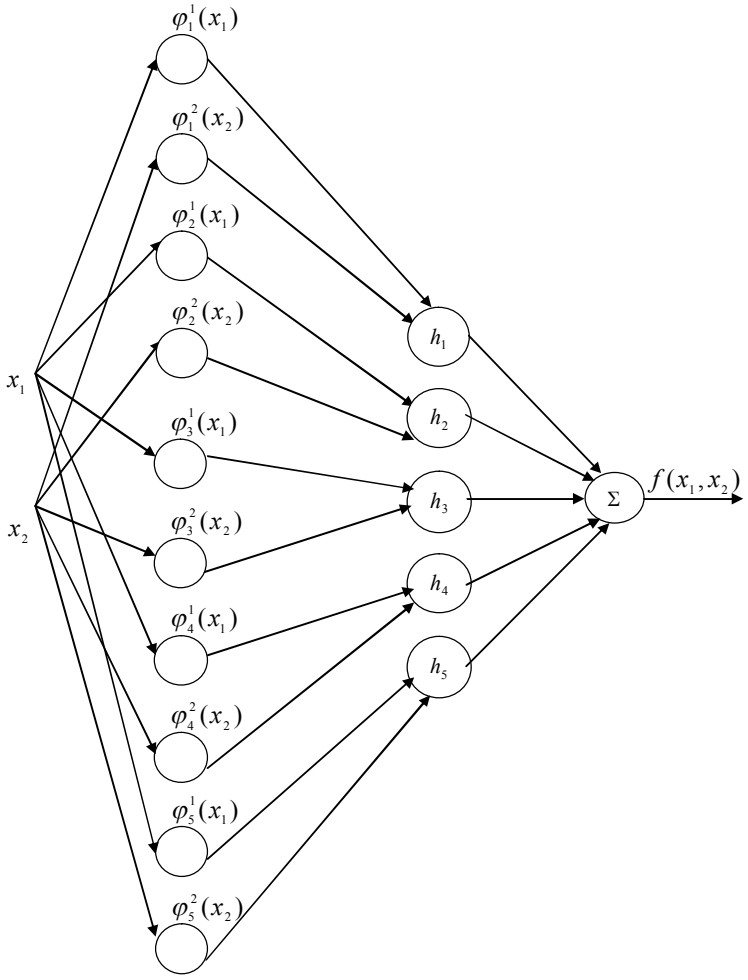



Рис. 1. Модель структуры универсальной неоднородной нейронной сети для двумерного пространства информативных признаков

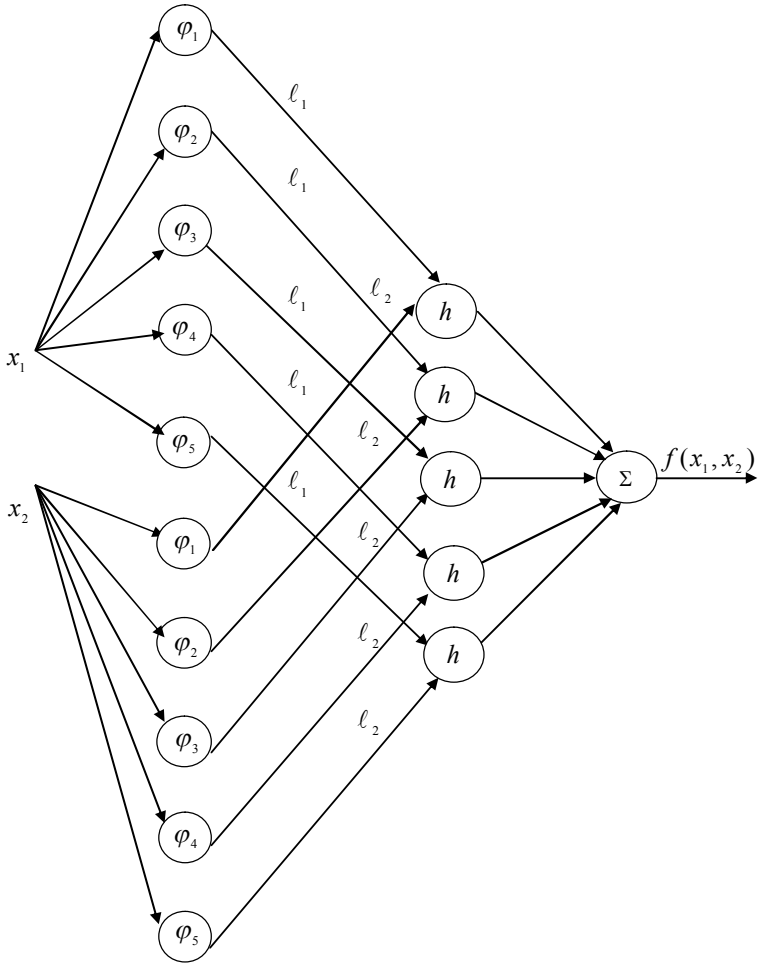



Рис.2. Модель структуры универсальной неоднородной нейронной сети для двумерного пространства информативных признаков с модифицированной, согласно (2), сетевой структурой

Основной проблемой, связанной с реализацией сетевых структур (рис.1, 2) является то, что они неоднородны, то есть не имеют фиксированных элементов и настраиваемых параметров: функции h в узлах сетей зависят от аппроксимируемой функции f.

Чтобы упростить процесс аппроксимации, заменим достаточно сложную гиперповерхность, соответствующую уравнениям (1) и (2), гиперплоскостью, описываемой уравнением

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots + a_nx_n = b, \qquad (3)$$

где $a_i$ и b – произвольные константы (i = 1, 2, …, n).

Если число исходных данных растет, то уравнение (3) преобразуется в систему линейных неоднородных уравнений. Адекватность модели (3) будет определяться тем, имеет ли решение неоднородная система линейных уравнений [2]

$$\begin{cases} a_1x_{11} + a_2x_{12} + \ldots + a_nx_{1n} = b_1, \\ a_1x_{21} + a_2x_{22} + \ldots + a_nx_{2n} = b_2, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_1x_{m1} + a_2x_{m2} + \ldots + a_nx_{mn} = b_m, \end{cases} \qquad (4)$$

относительно неизвестных $a_i$, где ($x_{j1}$ $x_{j2}$ … $x_{ji}$…$x_{jn}$), i=1,2..n; j=1, 2, …m - множество m векторов экспериментальных данных.

Компонентам вектора $\mathbf{B}=(b_1\ b_2\ \ldots\ b_m)^T$ в модели (4) можно присвоить произвольные одинаковые для каждого из разделяемых классов значения. Если на основе уравнения (3) строится классификатор для одного класса (отметим, что при этом на самом деле неявно всегда присутствует второй класс, который является отрицанием искомого класса), то можем положить, что компоненты векто-

ра **B** равны нулю и перейти от системы неоднородных уравнений (4) к системе линейных однородных уравнений

$$\begin{cases} a_1 x_{11} + a_2 x_{12} \quad + ... + a_n x_{1n} = 0, \\ a_1 x_{21} + a_2 x_{22} \quad + ... + a_n x_{2n} = 0, \\ ..... \\ a_1 x_{m1} + a_2 x_{m2} + ... + a_n x_{mn} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Для того чтобы эта система имела нетривиальное решение, необходимо и достаточно, чтобы ранг r матрицы коэффициентов был меньше n.

Если для определения n коэффициентов используется n векторов экспериментальных данных, то для того, чтобы система (5) была совместна, необходимо и достаточно, чтобы [2]

$$\det X = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & ... & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & ... & x_{2n} \\ ..... & & & \\ x_{n1} & x_{n2} & ... & x_{nn} \end{vmatrix} = 0. \quad (6)$$

В реальных системах классификации m>n и система (5) переопределена и, следовательно, не имеет нетривиального решения. Поэтому, компоненты вектора **B** целесообразно представить в виде нечетких чисел, которые описываются некоторыми функциями принадлежности с базовой переменной, лежащей в диапазоне ±ε. При таком представлении область признакового пространства, соответствующая искомому классу, заключена между двумя коллинеарными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстояние не более 2ε. В наиболее благоприятном случае все векторы обучающей выборки лежат на гиперплоскости, заданной вектором **A**=($a_1$ $a_2$ … $a_m$), detX=0 и ε=0.

Чтобы заменить вектор **B** скаляром, от системы равенств (4) перейдем к системе неравенств

$$\begin{cases} a_1 x_{11} + a_2 x_{12} \quad + ... + a_n x_{1n} + b_1 \le |\varepsilon|, \\ a_1 x_{21} + a_2 x_{22} \quad + ... + a_n x_{2n} + b_2 \le |\varepsilon|, \\ ..... \\ a_1 x_{m1} + a_2 x_{m2} + ... + a_n x_{mn} + b_m \le |\varepsilon|. \end{cases} \quad (7)$$

Система неравенств (7) описывает множество коллинеарных гиперплоскостей, расстояние между которыми не превышает некоторой величины $\varepsilon$, другими словами

$$\frac{b_\ell - b_k}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} a_i^2}} \le |\varepsilon|, \quad (8)$$

где $\ell = 1,2,...,m; \quad k = 1,2,...,m; \quad \ell \ne k.$

От системы коллинеарных гиперплоскостей можно перейти к системе неколлинеарных гиперплоскостей, расщепив систему уравнений (7) на несколько подсистем коллинеарных гиперплоскостей путем уменьшения расстояний между коллинеарными гиперплоскостями. Очевидно, чем больше число гиперплоскостей, на которое расщепляется исходная гиперплоскость, тем более сложной может быть форма аппроксимируемой функции.

На рис.3 представлена сетевая структура, реализующая описанный способ аппроксимации, в которой исходная система (7) расщеплена на $\lambda$ неколлинеарных гиперплоскостей.

Сеть состоит из четырех слоев и является однородной, так как в узлах сети осуществляются одинаковые математические операции. Первый (входной) слой определяет вектор состояния системы классификации. Второй слой синтезирует аппроксимирующие функции согласно уравнению (3). Число λ таких аппроксимирующих функций определяется структурой данных – обучающей выборкой и априорно неизвестно.

Выбор величины $\varepsilon$ определяется расстоянием между классами. Если принять, что расстояние между диагностируемым классом $\Re$ и альтернативным классом $\overline{\Re}$ равно единице и все объекты этих классов размещены внутри гиперсфер диаметром единица, то величину $\varepsilon$ определяем из уравнения

$$\varepsilon = \frac{1}{\lambda + 1}. \quad (9)$$

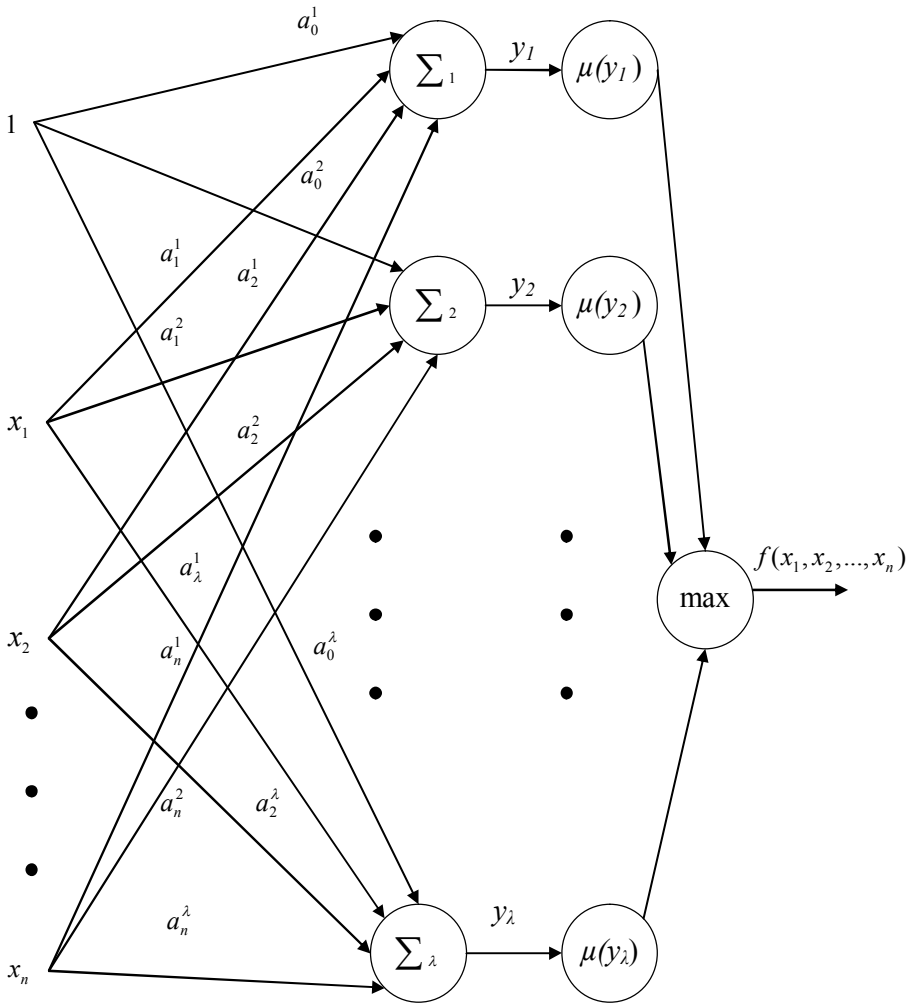
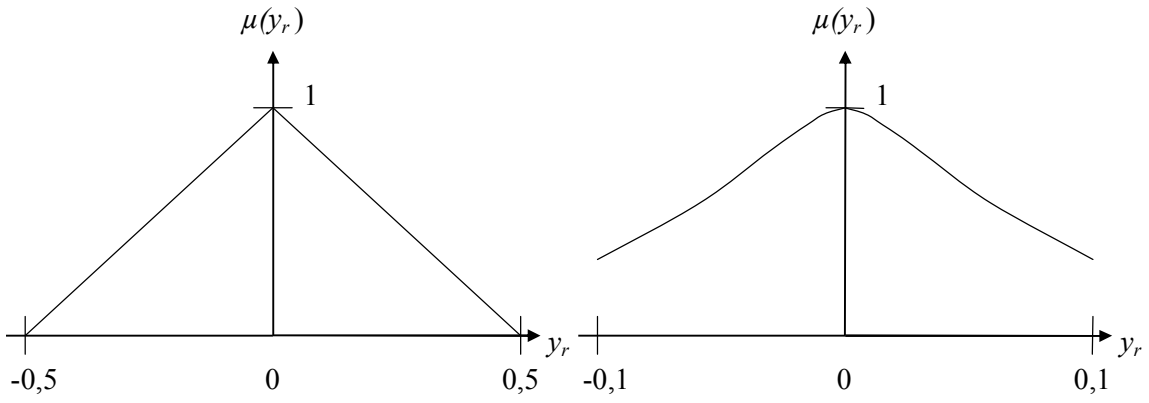



Рис. 3. Сетевая структура универсального классификатора

Из этой формулы следует, что выбор $\varepsilon$ есть следствие компромисса между увеличением числа нейронов во втором слое и увеличением точности аппроксимации.

Так как сеть (рис.3) настроена на один класс - $\Re$, то при поступлении на ее входы компонентов вектора $\mathbf{X_j}$, соответствующих этому классу, на выходах нейронов второго слоя появятся числа, близкие к нулю. При этом, наиболее близким к нулю будет выход $y_r$ того нейрона, расстояние между гиперплоскостью которого и точкой $X_j$ минимально. После этого достаточно выбрать минимальное значение из всех компонентов вектора состояния второго слоя ($y_1$ $y_2$ …. $y_r$…$y_\lambda$), которое будет характеризовать степень близости вектора $\mathbf{X}$ к классу $\Re$.

Так как выходы второго слоя могут приближаться к нулю с двух сторон, то над ними должны быть осуществлены симметричные нелинейные преобразования. По существу, эти нелинейные преобразования осуществляют переход от четких чисел, соответствующих выходам второго слоя, к нечетким, которые характеризуют степень принадлежности соответствующего выхода второго слоя к искомому классу. Так как эти выходы однозначно связаны (через соответствующие гиперплоскости) с входным вектором, нелинейные преобразования назовем функциями принадлежности к искомому классу по базовой переменной, соответствующей выходу второго слоя. В частом случае, эти нелинейные преобразования не зависят от выхода нейрона второго слоя и их примеры показаны в виде графиков на рис.4.




*а)* *б)*

Рис. 4. Функции принадлежности выхода r нейронов второго слоя к классу $\Re$

В общем случае функции принадлежности настраиваются в процессе обучения для каждого нейрона или задаются эмпирически.

При использовании функций принадлежности вида, показанного на рис.4, в четвертом слое сети (рис.3) осуществляется операция *«нечеткое или»*

$$\max(\mu_1(y_1), \mu_2(y_2), ...\mu_r(y_r), ...\mu_\lambda(y_\lambda)) = \\ = f(x_1, x_2, ..., x_n) \quad (10)$$

В медицинских приложениях используются два аппроксиматора, соответствующие двум разделяемым классам. Это значит, что универсальная нейронная сеть для биомедицинских данных имеет блочную структуру, причем число блоков должно соответствовать числу разделяемых классов.

В соответствии со структурой (рис. 3) и уравнениями (7) и (10), а также обозначив функцию *«нечеткое или»*

$$\max(\mu_1(x), \mu_2(x)) = \sum_{i=1}^{2}[\oplus]\mu_i(x), \quad (11)$$

а выходы нейронов второго слоя

$$y_r = \sum_{i=0}^{n} a_i(x_i), \quad (12)$$

аппроксимирующую модель для сетевой структуры (рис.3) выразим следующим уравнением

$$f(x_1, x_2, ..., x_n) = \\ = \sum_{r=1}^{\lambda}[\oplus]\mu_r\left[\sum_{i=0}^{n} a_i(x_i)\right]. \quad (13)$$

или в более общем случае

$$f(x_1, x_2, ..., x_n) = \\ = \sum_{r=1}^{\lambda}[\oplus]\mu_r\left[\sum_{i=0}^{n} \varphi_i(x_i)\right]. \quad (14)$$

Уравнение (14) имеет запись, аналогичную уравнениям (1) и (2), соответствующим теореме Арнольда - Колмогорова, но лишено основных их недостатков: все функции, входящие в него, не зависят от аппроксимируемой функции и, следовательно, эта аппроксимация может быть достаточно легко реализована путем обучаемых нейронных сетей, например, в среде Matlab 7.10 (R2010a) со встроенными пакетами Neural Network Toolbox и Fuzzy Logic Toolbox [3].

*Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (контракт № 424).*

**Список литературы**

1. Макаренко Н.Г. Эмбедология и нейропрогноз//Научная сессия МИФИ-2003. V Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформати-

ка-2003»: лекции по нейроинформатике. Ч. 1. М.: МИФИ, 2003. С. 86-141.

2. Головина Л.И. Линейная алгебра и некоторые ее приложения: учеб. пособие для вузов. М.: Наука, 1985. 392 с.

3. Способ моделирования нечетких нейросетевых моделей в пакете MATLAB для биомедицинских приложений / С.А. Филист, В.В. Жилин, О.В. Шаталова [и др.] //Медицинская техника. 2008. №2. С. 15-18.

*Получено 19.06.12*

**R.A. Томакова,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: tomakova@rambler.ru)

**S.A. Filist,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: sfilist@gmail.com)

**Yaa Zar Do,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: sfilist@gmail.com)

**UNIVERSAL NETWORK MODELS FOR CLASSIFICATION OF BIOMEDICAL DATA**

*The article discusses the model of the universal structure of homogeneous neural network for two-dimensional space of the informative signs of biomedical data. Proposed method of approximation признакового space using the fuzzy membership functions of a certain type. Built approximating model for a network structure, which allows to classify the biomedical data.*

***Key words:*** *fuzzy neural networks, approximation of functions, the system of linear inhomogeneous equations, functions of accessories.*

---

УДК 004.04

**В.В. Ефремов,** ст.преп., Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.(4712)52-38-29)

**И.Н. Ефремова,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: efremova-in@inbox.ru)

**В.В. Серебровский,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.(4712)52-38-29)

**СИСТЕМЫ ПРОДУКЦИЙ ДЛЯ СЖАТИЯ СИМВОЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

*Предлагается использование продукционной парадигмы для процедур сжатия символьной информации и инструментальный базис для оценки корректности таких систем продукций, повышающий безопасность вычислительных систем на данном классе задач.*

*Ключевые слова: обработка символьной информации, сжатие информации, системы продукций.*

Для многих задач обработки символьной информации эффективно применяется продукционный подход [1]. Указанный подход не применялся ранее для задачи сжатия символьной информации, которая занимает важное место среди задач обработки символьной информации. В связи с этим, известные способы сопоставления с множеством образцов, например приведенных в источнике [2], при проверке условий корректности параллельных продукционных систем не учитывают особенности задачи сжатия. Предлагается использовать продукционную систему для сжатия информации, задавая аналогично множественному поисковому модифицирующему запросу m образцов и, задавая, a для адаптивного сжатия вычисляя, m соответствующих им модификаторов. Такой подход позволяет повысить эффективность выполнения процедуры сжатия символьной информации, например, за счет использования для ее реализации продукционных машин.

Анализ корректности системы продукций для сжатия имеет свою специфику в связи с нижеследующими условиями корректности.

1. Система продукций обеспечивает полную модификацию.

2. Каждый символ входного слова модифицируется не более одного раза.

Пусть имеется служебный алфавит $B^*$, каждой букве которого поставлена в соответствие цепочка символов (в том числе состоящая из одного символа), в рабочем алфавите B, в котором записаны обрабатываемые слова, такой, что в нем можно записать любое входное слово.

Определение. Систему продукций, такую и только такую, антецеденты которой однозначно соответствуют символам алфавита $B^*$, будем считать нормальной.

Теорема 1. Система продукций выполняет полную модификацию только тогда, когда она является нормальной.

Доказательство. Допустим образцы не составляют нормальный класс и существует символ ξ, отличный от пустого слова ^, принадлежащий алфавиту $B^*$ и графически не равный ни одному образцу $S2^i$, где i=(1..n), n – количество образцов. Допустим слово $S1=S2^1\ \xi\ S2^2$. Тогда аннуляция вхождений образцов $S2^i \rightarrow\ ^\wedge$ приведет к слову S1=ξ. Модификация по определению будет полной тогда, когда ξ=^ или существует образец графически равный ξ. Оба условия противоречат условиям теоремы. Теорема доказана.

Рассмотрим все возможные варианты пересечения образцов, приводящие к двукратному нахождению вхождения символов слова.

$S2^i = S2^j\ R2$ (левое вхождение),

2. $S2^i = R1\ S2^j$ (правое вхождение),

3. $S2^i = R1\ S2^j\ R2$ (центральное вхождение),

4. $S2^{ik} = S2^{jн}$ (пересечение), где R1, R2 – произвольные слова в алфавите B; $S2^{ik}$, $S2^{jн}$ – соответственно, конечный и начальный фрагмент слов $S2^i$ и $S2^j$.

Варианты 1, 3 и 4 вызывают некорректную модификацию при параллельном выполнении рассматриваемой системы продукций с ее спецификой в связи с тем, что графическое равенство фрагментов входного слова вхождению образцов друг в друга или их пересечению, приведет к двукратной модификации. Вариант 2 отличается тем, что конечные позиции вхождения образцов будут одинаковы. В связи с этим, в данном случае для обеспечения корректности необходимо ввести различные уровни приоритетов для образцов- высший {i} для более длинного $S2^i$, согласно которым срабатывает продукция с более высоким приоритетом {i}>{j}.

Теорема 2. Система продукций для сжатия является некорректной для параллельного выполнения для однонаправленного потока данных тогда, когда выполняется условие:

$$\begin{aligned}&\left(S2^i = S2^j R2\right)\vee\\&\vee\left(S2^i = R1S2^j R2\right)\vee\\&\vee\left(S2^{ik} = S2^{jн}\right)\vee\\&\vee\left[\left(S2^i = R1S2^j\right)\&\left(\{i\}\le\{j\}\right)\right]=1\end{aligned}\qquad(1)$$

Доказательство. Допустим верным является первый член дизъюнкции 1 и система является корректной, т.е. каждый символ модифицируется только один раз. Допустим слово $S1= S2^j\ R2$. Для слова S1 будет зафиксировано вхождение образов $S2^j$ и $S2^i$ и фрагмент слова $S2^j$ причислен к обоим из них, т.е. будет модифицирован дважды, что противоречит условию корректности 2.

Допустим верным является второй член дизъюнкции 1 и система является корректной. Допустим слово $S1=R1\ S2^j$ R2. Для слова S1 будет зафиксировано вхождение образов $S2^j$ и $S2^i$ и фрагмент слова $S2^j$ причислен к обоим из них, т.е. будет модифицирован дважды, что противоречит условию корректности 2.

Допустим $S2^i=R1\ \xi$, $S2^j=\xi\ R2$ (верным является третий член дизъюнкции 1) и система является корректной. Допустим слово S1=R1 ξ R2. Для слова S1 будет зафиксировано вхождение образов $S2^j$ и $S2^i$, а фрагмент слова $S2^j$ соотнесен к обоим из них, т.е. будет модифицирован дважды, что противоречит условию корректности 2.

Допустим верным является четвертый член дизъюнкции 1 и система является корректной. Допустим слово S1=R1

$S2^j$. Для слова S1 будет зафиксировано вхождение образов $S2^j$ и $S2^i$ и фрагмент слова $S2^j$ причислен к обоим из них. Если {i}={j} фрагмент будет модифицирован дважды, что противоречит условию корректности 2. Если {i} < {j}, фрагмент слова R1 не будет модифицирован, что противоречит условию корректности 1. Теорема доказана.

Рассмотрение всех возможных вариантов пересечения образцов является основанием для следующего высказывания.

Следствие теоремы 2. Если условие 1 не выполняется, параллельная система продукций модифицирует каждый символ входного слова не более одного раза.

Таким образом, система продукций, удовлетворяющая условию теоремы 1 и условию следствия теоремы 2, является корректной для процедуры сжатия, а сами теоремы являются инструментальным базисом для проверки корректности систем продукций для сжатия символьной информации.

1. Довгаль В.М. Методы модификации формальных систем обработки символьной информации. Курск, 1996. 115 с.

2. Керекеша В.В. Ассоциативные устройства для реализации систем продукций: автореф. ... дис. канд. техн. наук. Курск, 1995.

*Получено 28.05.12*

**V.V. Efremov,** Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk) (tel.(4712)52-38-29)

**I.N. Efremova,** Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: efremova-in@inbox.ru)

**V.V. Serebrovsky,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (tel.(4712)52-38-29)

**PRODUCTION SYSTEM FOR COMPRESSION OF INFORMATION**

*It is offered use the production paradigm to procedures of compression and it is offered the instrumental base to estimation of correctness of the production system for compression for the raising safety of computing systems on given problems class.*

***Key words:*** *symbolic information processing, compression of information, systems of productions.*

УДК 004.031

**Е.А. Титенко,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: johntit@mail.ru)

**А.В. Крипачев,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: xray-007@mail.ru)

**Е.Б. Тутов,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: johntit@mail.ru)

**К.С. Скорняков,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: johntit@mail.ru)

**К.С. Цуканов,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: johntit@mail.ru)

**АППАРАТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ СПОСОБ БЕЗОТСТУПНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОДУКЦИОННЫХ СИСТЕМ**

*В статье рассматривается аппаратно-ориентированный способ модификации подстрок на основе ассоциативной памяти. Управляемая запись по строкам матрицы и маскированное выделение ее рабочей части обеспечивают безотступность выполнения базовой продукционной операции замены.*

***Ключевые слова:*** *ассоциативная память, безотступные вычисления, продукция.*

***

**Актуальность работы**

Современный этап создания высокопроизводительных систем обработки информации характеризуется интеллектуализацией вычислений. Это означает, что математические, программные и техни-

ческие средства обработки информации в значительной степени ориентируются на проблемно-поисковые и комбинаторные задачи, связанные с принятием решений в условиях неопределенности исходных данных и схемы решения. В свою очередь, интеллектуализация вычислений связывается с аппаратной поддержкой таких форм распараллеливания вычислений, которые свойственны естественному интеллекту в части применения базовой схемы принятия решений «условие→действие». Особая система правил (система продукций) как формализация данной схемы, а также аппаратно-программные средства, поддерживающие базовые продукционные операции (поиск по образцу и модификация данных) составляют основу продукционной парадигмы вычислений. Продукционные системы и соответствующие аппаратно-программные средства находят широкое применение в информационно-поисковых и экспертных системах, в системах медицинской диагностики, в лингвистических процессорах для естественно-языковой обработки текстов, в системах технического зрения, в криптографических системах, в параллельных ассоциативных процессорах обработки символьной информации общего характера.

Тем не менее, системы продукций (СП) и основные продукционные операции в них, как правило, реализуются программно в силу несоответствия физической структуры данных вычислительным операциям их модификации, что приводит к неудовлетворительным временным характеристикам универсальных микропроцессорных устройств при решении задач ОСИ. Известен способ модификации данных, заключающийся в реализации операции посимвольной замены данных на одномерной списковой структуре путем логической вставки символов в конец списка и соответствующем изменении указателей элементов списка. Недостатком данного способа являются избыточные затраты времени на исключение из одномерной списковой структуры логически не адресуемых элементов, связанные с необходимостью последовательного просмотра всех элементов списка. Также известен способ модификации данных, основанный на использовании реверсивных регистров сдвига и последовательном преобразовании всей строковой структуры, что также приводит к непродуктивным затратам времени. Наиболее близким к предлагаемому способу является способ поиска на основе ассоциативной памяти [1], заключающийся в циклической реконфигурации исходной структуры данных из одномерного в двумерный вид и установлении отношений следования между элементами структуры данных, что позволяет совмещать последовательные и параллельные процессы над всеми элементами структуры данных. Недостатком данного подхода является ограниченность реализации операции модификации в обрабатываемой исходной строке ввиду отсутствия возможности локальной вставки элементов в строку или локального удаления элементов строки.

Основная идея работы заключается в разработке средств аннуляции возвратных переходов по данным при параллельном исполнении ПС, а также в организации однородных устройств ОСИ на базе ассоциативной матрицы с реконфигурируемыми связями между ячейками матрицы.

**Постановка задачи**

Пусть в алфавите A задана продукционная система, состоящая из одной продукции вида

$$O \to P, \qquad (1)$$

где O, M – строка-образец и строка-модификатор соответственно, $O \subset A^*$, $M \subset A^*$.

Задача модификации строки для (1) формулируется следующим образом. Пусть исходные объекты имеют следующие количественные характеристики:

– строка-образец O длиной m символов, где $O \in A^*$, $O = o_1 o_2 \ldots o_m$;

– строка-модификатор P длиной r символов, где $P \in A^*$, $P = p_1 p_2 \ldots p_r$, $0<r\leq 2m$;

– обрабатываемая строка S длиной k символов, где $S \in A^*$, $S = s_{1s2} \ldots s_k$, $(k \leq n \cdot m)$, n-натуральное число.

Требуется осуществить замену вхождения O на P в S, т.е. разработать такой алгоритм, что справедливо

$$\exists i((O(1,m) = S(i,i+m-1)) \mid \left|(S = s_1 s_2 ... s_{i-1} p_1 p_2 ... p_r s_{i+m} ... s_k), \right. , \quad (2)$$

где k>0, m>0,w>0, $w = k - m + 1$, $1 \le i \le w$.

**Способ безотступной модификации данных**

При реализации операции модификации подстрок в выражении (2) следует рассмотреть три варианта соотношения длин образца O и модификатора P[2] :

1) m < r;
2) m = r;
3) m > r.

Первый вариант (m<r) включает последовательность шагов замещения, вставки и удаления символов из обрабатываемой строки, второй и третий варианты основаны на процессах замещения или удаления символов из обрабатываемой строки соответственно. Данное обстоятельство позволяет рассматривать первый вариант как общий случай реализации операции замены подстрок.

Параллельная замена строки обеспечивается путем представления исходной битовой строки S длиной до k=n×m символов в виде двухмерной матрицы из n строк по m разрядов в каждой строке, где m соответствует разрядности образца. Для A={0,1} на рис. представлено пошаговое выполнение операции замены для случая m < r при S=1101100111100110, O=1001 и P=110011. Модификатор P представляется в виде двух подстрок $P_1$, $P_2$ по m символов каждый. При этом выравнивание символов в $P_2$ выполняется по правому краю, а незаполненные разряды $P_2$ дополняются 0 (на рис. такие разряды для наглядности отмечены символом «x»).

Способ параллельной модификации строки на матрице реализуется следующим образом. Битовая подстрока $P_1$, длиной в m символов, подается на информационные входы матрицы и в параллельном коде замещает данные в i-й строке матрицы, где i- номер строки матрицы, выбранной для операции замены. Управление номером строки матрицы осуществляется на основе внешней маски строк $M_1$, содержащей единственную логическую «1» в i-ой позиции (i =2 на рис. а). После замещения первой подстроки $P_1$ выполняется загрузка нового значения маски $M_1$ (рис. б), которая своими логическими «1» выделяет «верхнюю» часть матрицы. На основе установленного значения маски $M_1$ с подачей m тактовых импульсов выполняется сдвиг влево на m бит над элементами строки S только в выделенной части матрицы (рис. 1в). Процессы, отраженные на рис. в, приводят к освобождению i-ой строки матрицы для дальнейших преобразований, а выдвигаемые первые m символов строки S поступают на информационный выход матрицы.

Следующий этап способа параллельной замены заключается в том, что на информационные входы матрицы подается подстрока $P_2$ длиной в m бит. На рис. г представлена вставка в параллельном коде второй подстроки $P_2$ в i-ую строку, ранее освобожденную сдвигом.

Следующий этап операции параллельной замены подстрок связан с загрузкой нового значения маски строк $M_1$ (рис. д), которая своими логическими «1» выделяет «нижнюю» часть матрицы. На заключительном этапе на основе установленного значения маски $M_1$ с подачей 2m-r тактовых импульсов выполняется сдвиг влево на 2m-r бит над элементами строки S только в выделенной части матрицы (рис. е). Процессы, отраженные на рис.1е, приводят к удалению 2m-r незначащих разрядов из i-ой строки матрицы и формированию корректного результата.

В случае, если r=m, то операция замены строки сводится лишь к выполнению этапа замещения в параллельном коде модификатора P вместо образца O (рис. а). В случае, если r<m, то операция замены строки выполняется в два этапа: этап замещения строки-образца на строку-модификатор (рис. а) и этап сдвига влево на m-r бит над элементами строки S только в «нижней» части матрицы (рис. е).

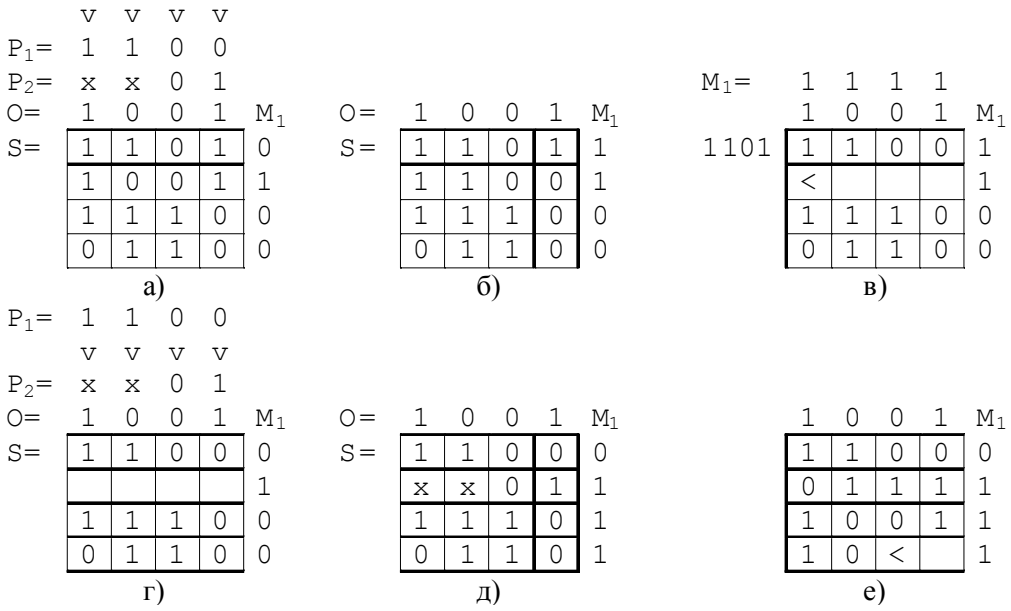



Рис. Пошаговое выполнение операции замены

Таким образом, разработан аппартно-ориентированный способ параллельной модификации строковых данных, состоящий из четырех аппаратных шагов (замещение, раздвижка, вставка и корректирующее удаление символов), основанный на управляемой циклической реконфигурацией массива элементов из одномерного в двумерный вид и обратно при выполнении аппаратных шагов и позволяющий корректно выполнять операцию замены по безотступной технологии. Управляемое выделение рабочей части матрицы («верхняя» часть, «нижняя» часть) позволяет обоснованно выполнять шаги структурных преобразований, при этом затрагивается только часть элементов массива и не возникает реверсивных сдвигов при произвольных сочетаниях длин строки-образца и строки-модификатора.

1. Емельянов С.Г., Титенко Е.А., Зерин И.С. Однородные вычислительные структуры для параллельных символьных вычислений // Известия Юго-Западного гос. ун-та. 2011. №6(39). Ч.2. С. 77 – 82.

2. Метод, алгоритм и техническое решение параллельного поиска и подстановки на ассоциативной памяти / И.С. Зерин, О.И. Атакищев, Е.А. Титенко [и др.]// В мире научных открытий. Математика. Механика. Информатика: Научный журнал. 2012. №1. С. 166-180.

*Получено 02.07.12*

**E.A. Titenko,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: johntit@mail.ru)

**A.V. Kripachev,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: xray-007@mail.ru)

**E.B. Tutov,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: johntit@mail.ru)

**K.S. Skornyakov,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: johntit@mail.ru)

**K.S. Tchukanov,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: johntit@mail.ru)

**HARDWARE-ORIENTED METHOD OF DATA MODIFICATION WITHOUT BACKTRACKING FOR PRODUCTION SYSTEMS**

*The article describes hardware-oriented method of substring modification with associative storage. Controlled recording by rows of matrix ant masked selection of its working part causes base production replacement operation executing without backtracking*

***Key words:*** *associative storage, calculations without backtracking, production.*

УДК 615.47:616-072.7

**С.В. Петров,** канд. мед. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: spetrov77@list.ru)

**С.П. Серегин,** д-р мед. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

**А.А. Кузьмин,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: ku3bmin@gmail.com)

**М.Н. Кузьмина,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail:mari1911@mail.ru)

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОКИНОВОГО СТАТУСА ПРИ ЛЕЧЕНИИ СЕРОЗНОГО ПИЕЛОНЕФРИТА ВО ВРЕМЯ БЕРЕМЕННОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

*В работе синтезируются нечеткие решающие правила для определения цитокинового статуса у беременных на основе проведенных исследований содержания про- и противовоспалительных цитокинов в сыворотке крови при различных формах гестационного серозного пиелонефрита. Полученные правила, функции принадлежности предлагается использовать в системах поддержки принятия решений на основе нечеткой логики.*

***Ключевые слова:*** *цитокины, пиелонефрит, беременность, система поддержки принятия решений.*

***

Хронический пиелонефрит в структуре экстрагенитальной патологии у беременных по праву занимает ведущее место (48-54%). Данное заболевание осложняет течение беременности и родов, является одним из пусковых механизмов гестоза, кровотечения в родах, приводит к невынашиванию беременности и перинатальной заболеваемости и смертности [1]. Коварство серозных форм пиелонефрита во время беременности связано с латентностью течения, трудностью диагностики и медленным развертыванием клинической картины. Если больших сложностей с лечением гнойных форм пиелонефрита сегодня не возникает, то говорить о дифференцированном подходе к лечению серозных форм как в период обострения, так и в период ремиссии, пока не приходится [2].

Диагностика гнойных и гнойно-деструктивных форм пиелонефрита значительно легче, чем дифдиагностика и определение степени тяжести «серозного пиелонефрита» [4]. Часто латентное течение заболевания и трудность диагностики вынуждает анализировать большой объем диагностических факторов, в том числе возникает необходимость в исследовании характера изменений иммунной системы.

Целью исследования является сравнение характеристик цитокинового звена иммунитета у беременных с различными формами серозного пиелонефрита для применения этих показателей в системах поддержки принятия решений. Задачи настоящего исследования следующие:

– Сравнить показатели про- и противовоспалительных цитокинов во II и III-м триместрах беременности, осложненной гестационным пиелонефритом.

– Изучить показатели цитокинового статуса при различных формах гестационного пиелонефрита.

– Предложить профилактические меры по предотвращению развития осложненных форм гестационного пиелонефрита.

– Разработать математическое обеспечение для применения полученной информации в системах поддержки принятия решений.

**Материалы и методы**

Проведено комплексное обследование 362 беременных, 303 из которых составили основную группу (серозный пиелонефрит), остальные – контрольную (здоровые беременные). 153(50,5%) женщины из основной группы находились на сроке беременности 22-24 недели – они составили первую группу, 150(49,5%)

женщин - 32-34 недели – соответственно 2-я группа. В контрольной группе на сроке беременности 22-24 недели обследовано 26 женщин, на сроке 32-34 недели – 33 женщины.

В основу деления на подгруппы было положено наличие у обследуемых женщин формы серозного пиелонефрита по классификации Н.А. Лопаткина. Так в первой группе выделено 3 подгруппы: 1.1 - хронический пиелонефрит выявленный впервые во время беременности (49 женщин); 1.2 – хронический пиелонефрит, стадия обострения (47 женщин); 1.3 – хронический пиелонефрит, стадия ремиссии (57). Таким же образом были выделены подгруппы во второй группе, соответственно 54 беременные – хронический пиелонефрит выявленный впервые во время беременности (2.1), 40 беременных - хронический пиелонефрит, стадия обострения (2.2), и 56 беременные - хронический пиелонефрит, стадия ремиссии (2.3).

Обследование беременных включало: выявление клинических, лабораторных и ультразвуковых характеристик течения беременности и родов, ультразвуковую ренометрию, исследование цитокинового статуса.

Количественная оценка уровней интерлейкинов ИЛ-1β, ИЛ-10 и интерферона ИНФ-γ в сыворотке крови проводилась методом твердофазного иммуноферментного анализа с помощью набора реагентов ProCon ИЛ-1β, ProCon ИЛ-10 и ProCon ИНФ-γ (ТОО «Протеиновый корпус», г. Санкт-Петербург).

При сравнении клинико-анамнестических данных пациенток исследуемых групп выявлено, что для беременных основной группы в отличие от контрольной группы характерно наличие отягощенного соматического анамнеза. В анамнезе у женщин основной группы по сравнению с группой контроля чаще выявлялись хронические воспалительные заболевания органов малого таза, аборты, самопроизвольные выкидыши и неразвивающиеся беременности. Беременность у женщин основной группы осложнялась развитием фетоплацентарной недостаточности (ФПН) в 2,5 раза чаще, чем в контрольной группе (102 и 41 женщина соответственно), ВУИ в 2,7 раза чаще чем в контрольной группе (130 и 48 женщин соответственно), угро-жающими преждевременными родами (более чем в 2 раза). Следует также отметить, что у всех женщин основной группы имело место сочетание сразу 2-3 осложнений беременности. Течение родов в основной группе осложнилось высокой частотой аномалий родовой деятельности, травмами мягких тканей родового канала.

Исследование цитокинового статуса беременных на сроке 22-24 недель показало, что между пациентками первой подгруппы и второй подгруппы не выявлено существенных различий между уровнем ИЛ-1β в сыворотке крови и медиана распределения составляет около 150 пг/мл, но выявлены достоверные различия между этими двумя группами и группой контроля, где медиана распределения концентрации ИЛ-1β составила 30 пг/мл. Достоверные различия по концентрации ИЛ- 1β так же выявлены между третьей подгруппой (медиана 60 пг/мл) по сравнению с остальными подгруппами и группой контроля. Концентрация ИЛ-10 в сыворотке крови у женщин во II триместре беременности в представленных подгруппах имела схожую тенденцию по распределению (медиана подгруппы 1.1 — 158 пг/мл, 1.2 — 190 пг/мл, 1.3 — 36 пг/мл, группы контроля — 32 пг/мл). Идентичная картина распределения выявилась и при изучении концентрации ИНФ-γ (медиана подгруппы 1.1 — 175 пг/мл, 1.2 - 180 пг/мл, 1.3 — 55 пг/мл, группа контроля - 23 пг/мл).

Медианы распределения измерений концентрации ИЛ-1β во второй группе по подгруппам распределились аналогично первой группе. При сравнении динамики концентрации изучаемых цитокинов во II и III-м триместрах беременности выявлено незначительное изменение в подгруппах с хроническим пиелонефритом в стадии ремиссии и обострения. Медиана

распределения концентрации ИЛ-1β в третьем триместре была выше, чем во втором, однако это изменение с учетом большой дисперсии данных можно трактовать как погрешности измерения. Также медиана концентрации ИЛ-10 в нашем исследовании имела незначительную тенденцию к снижению от триместра к триместру в подгруппе с обострением хронического пиелонефрита.

В целом статус цитокинового звена иммунитета можно разделить на три терма: «нормальный», «умеренно выраженный» и «выраженный». Для использования этой информации в системах поддержки принятия решений, основанных на нечеткой логике и мягких вычислениях, необходимо построить функции принадлежности концентрации цитокинов к термам «нормальная», «умеренная», «повышенная» [3]. Тогда статус цитокинового звена иммунитета можно вычислить с помощью нечетких продукций следующего вида:

*Если (концентрация ИЛ-1β нормальная И концентрация ИЛ-10 нормальная И концентрация ИНФ-γ нормальная) ТО цитокиновый статус нормальный;*

*Если (концентрация ИЛ-1β умеренная И концентрация ИЛ-10 умеренная И концентрация ИНФ-γ умеренная) ТО цитокиновый статус умеренно выраженный;*

*Если (концентрация ИЛ-1β повышенная И концентрация ИЛ-10 повышенная И концентрация ИНФ-γ повышенная) ТО цитокиновый статус выраженный.*(1)

С учетом приведенной выше информации о статистическом исследовании концентрации цитокинов при различных формах серозного пиелонефрита нами были построены функции принадлежности концентрации ИЛ-1β, ИЛ-10, ИНФ-γ к термам «нормальная», «умеренная», «повышенная» у беременных во II-м и III-м триместрах беременности.

Например, кусочно-линейные аппроксимации функций принадлежности концентрации *c* интерлейкина ИЛ-1β к термам «нормальная» $\mu IL1b1$, «умеренная» $\mu IL1b2$, «повышенная» $\mu IL1b3$ задаются следующими формулами:

$$\mu\text{IL1b1}\ (c) = \begin{cases} 1 & \text{если} \quad 0 \le c < 20 \\ -\frac{1}{40}(c-20)+1 & \text{если} \quad 20 \le c < 60 \\ 0 & \text{если} \quad c \ge 60 \end{cases} \tag{1}$$

$$\mu\text{IL1b2}\ (c) = \begin{cases} 0 & \text{если} \quad 0 \le c < 20 \\ \frac{1}{40}(c-20)+1 & \text{если} \quad 20 \le c < 60 \\ -\frac{1}{100}(c-60)+1 & \text{если} \quad 60 \le c < 80 \\ -\frac{0.8}{60}(c-80)+0.8 & \text{если} \quad 80 \le c < 140 \\ 0 & \text{если} \quad 140 \le c \end{cases} \tag{2}$$

$$\mu\text{IL1b3}\ (c) = \begin{cases} 0 & \text{если} \quad c < 80 \\ \frac{1}{50}(c-80) & \text{если} \quad 80 \le c < 130 \\ 1 & \text{если} \quad 130 \le c < 170 \\ -\frac{1}{50}(c-170)+1 & \text{если} \quad 170 \le c < 220 \end{cases} \tag{3}$$

где с – концентрация вещества в сыворотке крови, пг/мл. Графики этих функций приведены на рисунке.

Аналогично формулам (1,2,3) задаются функции принадлежности концентрации интерлейкина ИЛ-10 и интерферона ИНФ-γ в сыворотке крови к соответствующим термам.

Таким образом, система нечетких продукций с учетом функций принадлежностей аналогично (1, 2, 3) позволяет получить решение по определению цитокинового статуса у беременных в сложных пограничных случаях, когда получаемые данные противоречивы или находятся на границе между общепринятыми классами состояний.

**Выводы**

При сравнении динамики концентрации изучаемых цитокинов во II и III-м триместрах беременности выявлено незначительное изменение в подгруппах с хроническим пиелонефритом в стадии ремиссии и обострения. Медиана распределения концентрации ИЛ-1β в третьем триместре была незначительно выше, чем во втором. Также медиана концентрации ИЛ-10 имела незначительную тенденцию к снижению от триместра к триместру в подгруппе с обострением хронического пиелонефрита.

По сравнению с контрольной группой уровень изучаемых цитокинов в сыворотке крови в течение беременности значительно выше при всех формах серозного пиелонефрита. В стадии ремиссии хронического пиелонефрита, в стадии обострения и при впервые выявленном пиелонефрите уровень ИЛ-1β, ИЛ-10 и ИНФ-γ значительно выше, чем в контрольной группе. Это может охарактеризовать острый воспалительный процесс в почках на фоне гестационной иммуносупрессии, как общую реакцию организма в целом.

Учитывая достоверно высокую разницу в концентрациях цитокинов в течение беременности, осложненной гестационным пиелонефритом, по сравнению с контрольной группой, можно предположить, что реакция цитокинового звена иммунной системы должна проявляться в преморбидном периоде, что позволяет проводить дальнейшие научные изыскания в данной области с целью ранней диагностики серозного пиелонефрита.

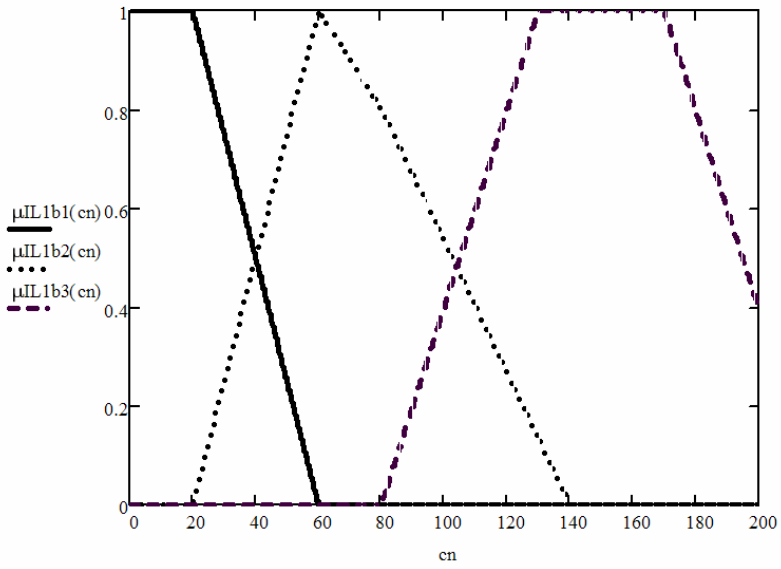



Рис. Графики кусочно-линейных аппроксимаций функций принадлежности концентрации *cn* интерлейкина ИЛ-1β к термам «нормальная» μIL1b1 , «умеренная» μIL1b2 , «повышенная» μIL1b3

Разработанное в ходе исследования математическое обеспечение на основе нечетких продукций можно рекомендовать к применению в соответствующих системах поддержки принятия решений.

**Список литературы**

1. Иремашвили В.В. Инфекции мочевыводящих путей: современный взгляд на проблему // Русский медицинский журнал. 2007.15,29. С.2231–2236.

2. Сафронова Л.А. Пиелонефрит и беременность // Русский медицинский журнал. 2000.8,18. С.778–781.

3. Синтез комбинированных нечетких решающих правил для медицинских приложений с использованием методов разведочного анализа / Н.А. Кореневский, А.А. Кузьмин, Ф. Ионеску, Р.Т. Аль-Касасбех // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 5. С. 65-76.

4. Шехтман М.М., Павлов В.В., Линева О.И. Почки и беременность. / Самара, 2000. 256с.

*Получено 15.06.12*

**S.V. Petrov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: spetrov77@list.ru)

**S.P. Seregin,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

**A.A. Kuzmin,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: ku3bmin@gmail.com)

**M.N. Kuzmina,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: mari1911@mail.ru

**THE STUDY OF CYTOKINE STATUS IN THE TREATMENT OF SEROUS PYELONEPHRITIS DURING PREGNANCY TO DECISION SUPPORT SYSTEMS**

*Fuzzy decision rules are synthesized in the article to determine cytokine status in pregnant women. The paper studies the content of pro-and anti-inflammatory cytokines in the serum were carried out in various forms of gestational serous pyelonephritis. Made rules, membership functions proposed for use in decision support systems based on fuzzy logic.*

***Key words:*** *cytokines, pyelonephritis, pregnancy, a decision support system.*

---

УДК 534.2

**В.М. Буторин**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: bvmwind@mail.ru)

**В.Э. Дрейзин**, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: drejzin_ve@mail.ru)

**В.В. Свиридов**, канд. физ.-мат. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

**АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В ТРУБЕ С ПОТОКОМ**

*Методом разделения переменных решено волновое уравнение, описывающее акустические волны в трубе, заполненной подвижной средой. Приведены формулы для расчета коэффициентов фазы однородных и неоднородных плоских волн, которые могут возбуждаться в данной системе. Анализ этих формул позволил установить влияние скорости акустической среды на фазовые скорости и коэффициенты затухания однородных и неоднородных плоских волн. Получено выражение для функции Грина, которая дает возможность рассчитывать как амплитуды возбуждаемых акустических волн в трубе с потоком, так и распределение акустического поля внутри трубы. Исследовано влияние скорости акустической среды на амплитуды возбуждаемых однородных и неоднородных плоских волн.*

***Ключевые слова****: акустические волны, труба, поток, акустическая среда, плоская однородная волна, плоские неоднородные волны, функция Грина.*

***

**Введение**

Результаты исследования акустических волн в газообразных и жидких средах широко представлены в литературе [1-9], при этом обычно рассматривались волновые процессы в неподвижной аку-

стической среде. В настоящее время прикладной интерес представляют волновые процессы в трубах, заполненных движущейся акустической средой, что связано с разработкой электронных приборов, контролирующих массу или объем вещества, переносимого по трубе [10-13]. Однако результаты исследования акустических волн в таких системах в литературе отсутствуют. В данной работе будут изучены типы акустических волн, которые могут существовать в трубах, заполненных подвижной акустической средой, а также получена функция Грина для расчета амплитуд волн, которые могут возбуждаться в трубе с подвижной акустической средой сторонними источниками.

### 1. Волновое уравнение для трубы с потоком

Однородное волновое уравнение, описывающее акустические волны в движущейся среде, имеет вид [9]

$$\nabla^2\phi(\vec{r},t)-\frac{v_0^2}{c_0^2}\frac{\partial^2\phi(\vec{r},t)}{\partial z^2}- -\frac{2v_0}{c_0^2}\frac{\partial^2\phi(\vec{r},t)}{\partial z\partial t}-\frac{1}{c_0^2}\frac{\partial^2\phi(\vec{r},t)}{\partial t^2}=0, \quad (1)$$

где $\nabla^2=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - оператор Лапласа в декартовой системе координат, $\phi(\vec{r},t)$ – потенциал скорости, $\vec{r}$ – радиус вектор, определяемый значениями декартовых координат x,y,z, t – время, $c_0$ – колебательная скорость в неподвижной акустической среде, $v_0$ – скорость акустической среды.

Для цилиндрической системы координат (рис.) в уравнении (1) оператор Лапласа записывается следующим образом

$$\nabla^2=\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad (2)$$

где *r,*φ *,z*-цилиндрические координаты.

В случае гармонического колебательного процесса с угловой частотой $\omega=2\pi f$ (f–частота) решение уравнения (1) представляется в виде

$$\phi(\vec{r},t)=F(\vec{r})\cdot\exp(i\omega t), \quad (3)$$

где $F(\vec{r})$ - функция, зависящая только от координат, при этом физический смысл имеет только реальная часть этого выражения $\mathrm{Re}[F(\vec{r})\cdot\exp(i\omega t)]$. С учетом этого, получаем уравнение для функции $F(\vec{r})$, описывающей распределение потенциала скорости в трубе, заполненной подвижной акустической средой

$$\nabla^2F(r,\varphi,z)-M^2\frac{\partial^2F(r,\varphi,z)}{\partial z^2}- -2ikM\frac{\partial F(r,\varphi,z)}{\partial z}+k_0{}^2F(r,\varphi,z)=0, \quad (4)$$

где $M=v_0/c_0$ – число Маха, $k_0=\omega/c_0=2\pi/\lambda_0$ – волновое число для неподвижной среды, $\lambda_0$ – длина волны в неподвижной среде.

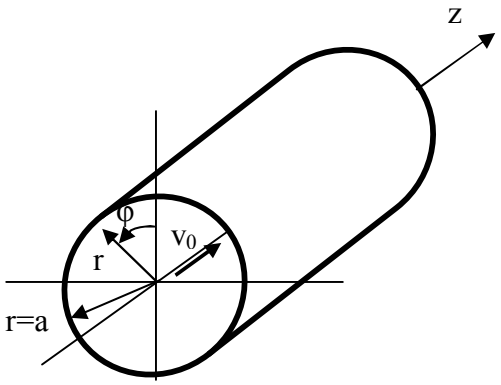



Рис. Труба с потоком акустической среды

Труба является направляющей системой для акустических волн, распространяющихся вдоль ее оси, поэтому решение уравнения (4) будем искать в виде

$$F(r,\varphi,z)=F_\perp(r,\varphi)\cdot\exp(-i\beta z), \quad (5)$$

где $F_\perp(r,\varphi)$ – функция, зависящая только от поперечных координат *r* и φ, β– продольное волновое число (продольный волновой коэффициент или коэффициент фазы). В результате получаем двумерное уравнение Гельмгольца:

$$\frac{\partial^2F_\perp(r,\varphi)}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial F_\perp(r,\varphi)}{\partial r}+ +\frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial^2F_\perp(r,\varphi)}{\partial\varphi^2}+\chi^2\cdot F_\perp(r,\varphi)=0, \quad (6)$$

где $\chi$- поперечное волновое число:

$$\chi^2 = (k - \beta M)^2 - \beta^2 = \\ = (k + i\gamma M)^2 + \gamma^2. \quad (7)$$

В случае движения среды в отрицательном направлении оси *z*, т.е. в обратном направлении движения акустической волны, в формуле (7) достаточно изменить положительный знак у числа Маха на противоположный знак.

## 2. Плоские однородные и неоднородные волны в трубе с постоянной скоростью потока

Акустические волны в трубе должны удовлетворять уравнению (6) и граничным условиям на стенке трубы:

$$\partial F_\perp(r,\varphi)/\partial r\big|_{r=a} = 0, \quad (8)$$

которые получены из граничных условий для акустического потенциала на абсолютно твердой поверхности [1-6]

$$\frac{\partial \phi(\vec{r},t)}{\partial n} = 0, \quad (9)$$

на основании (3) и (5).

Плоская однородная волна. Так же как и для трубы с неподвижной акустической средой, в случае трубы, заполненной движущейся акустической средой, простейшим решением уравнения (6) с граничными условиями (8) является функция

$$F_\perp(r,\varphi) = A_0 = \text{Const} \neq 0, \quad (10)$$

которая описывает однородную плоскую волну с поперечным числом $\chi = 0$. На основании (7) для продольного волнового числа (коэффициента фазы), длины волны и фазовой скорости плоской однородной волны получаем следующие выражения:

$$\beta_{00} = \frac{k}{1+M}, \\ \lambda = \frac{2\pi}{\beta_{00}} = (1+M)\lambda_0, \quad (11) \\ v_\phi = \frac{\omega}{\beta_{00}} = c_0 + v_0.$$

Таким образом, плоская однородная волна в трубе с движущейся акустической средой описывается следующим выражением:

$$F(r,\varphi,z) = F_\perp(r,\varphi)\cdot\exp[-ikz/(1+M)]. \quad (12)$$

Из формул (11) следует, что относительное увеличение длины однородной плоской волны в трубе с движущейся акустической средой по сравнению с длиной той же волны в трубе с неподвижной средой прямо пропорционально числу Маха, а фазовая скорость плоской однородной волны в трубе с движущейся средой увеличивается на скорость движения среды по сравнению с фазовой скоростью этой волны в трубе с неподвижной средой.

Плоские неоднородные волны. Общее решение уравнения (6), которое описывает неоднородные плоские волны, с учетом граничных условий (8), имеет следующий вид, см. например [1]:

$$F_\perp(r,\varphi) = A_{mn}\cdot F_{mn}(r,\varphi), \\ F_{mn}(r,\varphi) = J_m(\chi_{mn} r/a)\cdot\begin{cases}\cos(m\varphi)\\ \sin(m\varphi)\end{cases}, \quad (13) \\ m = 0,1,...; \quad n = 1,2,...,$$

где $A_{mn}$–константа, $J_m$ -цилиндрическая функция Бесселя, $\chi_{mn}$ -n-й корень функции $J'_m(x) = 0$. Величина $\chi_{mn}$ связана с поперечным числом $\chi$ следующим образом

$$\chi a = \chi_{mn}. \quad (14)$$

Два решения в формуле (13) отличаются друг от друга тем, что первое решение $\cos(m\varphi)$ симметрично относительно азимутального угла $\varphi$, а второе решение $\sin(m\varphi)$ антисимметрично относительно $\varphi$. Заметим, что одно из этих решений переходит в другое при повороте угла $\varphi$ на величину $\Delta\varphi = \pi/(2m)$.

Функция $F_{mn}(r,\varphi)$ описывает различные типы $F_{mn}$-волн, имеющие m периодов (вариаций) по азимутальному углу $\varphi$ и n экстремумов (вариаций) по радиусу r. Индекс m в дальнейшем будем называть азимутальным индексом, а индекс n –радиальным индексом.

На основании (14) из (7) получаем продольное волновое число (коэффициент фазы) неоднородной плоской волны

типа $F_{mn}$ в трубе, заполненной движущейся средой

$$\beta_{mn} = \frac{-kM}{1-M^2} \pm \frac{\sqrt{k^2 - (1-M^2)\chi_{mn}^2 / a^2}}{1-M^2}. \quad (15)$$

Знак плюс перед корнем соответствует волнам, распространяющимся в положительном направлении оси z, а знак минус – волнам, распространяющимся в отрицательном направлении, когда число Маха стремится к нулю.

Чтобы неоднородная плоская волна типа $F_{mn}$:

$$F_{mn}(r,\varphi,z) = A_{mn} \cdot J_m(\chi_{mn} r / a) \times \times \begin{cases} \cos(m\varphi) \\ \sin(m\varphi) \end{cases} \cdot \exp(-i\beta_{mn} z), \quad (16)$$

была распространяющейся незатухающей волной необходимо, чтобы подкоренное выражение в (15) было положительным. Из этой формулы следует, что критические частоты $f_{кр}^{v}$ неоднородных плоских волн в трубе, заполненной подвижной акустической средой, уменьшаются в $\sqrt{1-M^2}$ раз по сравнению с критическими частотами $f_{кр}$ неоднородных плоских волн в трубе, заполненной неподвижной средой, соответственно критические длины волн трубы с подвижной средой $\lambda_{кр}^{v}$ увеличиваются в такое же количество раз по сравнению с длиной волны для трубы с неподвижной средой $\lambda_{кр}$:

$$f_{кр}^{v} = \sqrt{1-M^2} f_{кр}, \qquad f_{кр} = \frac{c_0 \chi_{mn}}{2\pi a}, \quad (17)$$

$$\lambda_{кр}^{v} = \lambda_{кр} / \sqrt{1-M^2}, \qquad \lambda_{кр} = \frac{2\pi a}{\chi_{mn}}.$$

Выше критических частот $f_{кр}^{v}$ в трубе, заполненной движущейся акустической средой, но ниже критических частот $f_{кр}$ для трубы с неподвижной средой, в диапазоне частот $f_{кр}^{v} < f < f_{кр}$ волны типа $F_{mn}$ являются обратными волнами, т.к. фазовая скорость этих волн направлена в противоположную сторону по сравнению с фазовой скоростью этой волны на частотах больше критической частоты для неподвижной среды (17). Отметим, что фазовая скорость неоднородной волны в рассмотренной выше диапазоне частот увеличивается от $v_{ф} = -c_0(1-M^2)/M$ при $f = \sqrt{1-M^2} f_{кр}$, до $v_{ф} \to \infty$, при $f = f_{кр}$.

На частотах больших критической $f > f_{кр}$ по мере возрастания частоты фазовая скорость неоднородных плоских волн уменьшается и стремится к фазовой скорости однородной плоской волны $v_{ф} = c_0 + v_0$.

В трубе с подвижной акустической средой неоднородные плоские волны типа $F_{mn}$:

$$F_{mn}(r,\varphi,z) = A_{mn} \cdot J_m(\chi_{mn} r / a) \times \times \begin{cases} \cos(m\varphi) \\ \sin(m\varphi) \end{cases} \cdot \exp(-\gamma_{mn}^{v} z), \quad (18)$$

ниже своих критических частот $f_{кр}^{v}$ (17) являются обратными затухающими волнами с комплексным коэффициентом затухания

$$\gamma_{mn}^{v} = \frac{-ikM + \sqrt{(1-M^2)\chi_{mn}^2 / a^2 - k^2}}{1-M^2}. \quad (19)$$

Отметим, что при небольших числах Маха $0 < M < 0,3$, действительное значение коэффициентов затухания неоднородных плоских волн в трубе, заполненной движущейся акустической средой, отличаются от коэффициентов затухания неоднородных плоских волн в трубе, заполненной неподвижной акустической средой, не более чем на 10%.

### 3. Функция Грина для плоских волн, возбуждаемых в трубе при постоянной скорости потока по поперечному сечению трубы

Для расчета возбуждения звуковых волн в трубе нам требуется решить следующую трехмерную линейную краевую задачу, а именно решить неоднородное уравнение:

$$\nabla_{\perp}^2 F(\vec{r}) + (1-M^2)\frac{\partial^2 F(\vec{r})}{\partial z^2} - $$
$$-2ikM\frac{\partial F(\vec{r})}{\partial z} + k^2 F(\vec{r}) = \mathrm{div}(\vec{v}_{ист}), \quad (20)$$
$$\nabla_{\perp}^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2},$$

где $\vec{v}_{ист}$-нормальная составляющая колебательной скорости на поверхности источника $S'$, с граничными условиями

$$\left.\frac{\partial F(\vec{r})}{\partial r}\right|_{r=a;\ r,\varphi\notin S'} = 0, \quad (21)$$

вытекающими из (8).

На основании принципа суперпозиции [14], с учетом того, что источник звука расположен на поверхности трубы $r' = a$, $\vec{v}_n = v_n\cdot\vec{r}'/r'$, можем записать:

$$F(\vec{r}) = -\int_V \mathrm{div}(\vec{v}_n)\cdot G_v(\vec{r},\vec{r}')\cdot dv' =$$
$$= -\int_V \mathrm{div}(\vec{v}_n\cdot G_v(\vec{r},\vec{r}'))dv' = \quad (22)$$
$$= -\int_{S'} v_n(S')\cdot G_v(\vec{r},\vec{r}')\cdot ds',$$

где $G_v(\vec{r},\vec{r}')$ – функция Грина, удовлетворяет неоднородному волновому уравнению (20), в котором правая часть заменена на дельта функцию Дирака $-\delta(\vec{r}-\vec{r}')$:

$$\nabla_{\perp}^2 G_v(\vec{r},\vec{r}') + (1-M^2)\frac{\partial^2 G_v(\vec{r},\vec{r}')}{\partial z^2} -$$
$$-2ikM\frac{\partial G_v(\vec{r},\vec{r}')}{\partial z} + \quad (23)$$
$$+k^2 G_v(\vec{r},\vec{r}') = -\delta(\vec{r}-\vec{r}'),$$
$$\nabla_{\perp}^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2},$$

и те же самым граничным условиям (21):

$$\left.\frac{\partial G(\vec{r},\vec{r}')}{\partial r}\right|_{r=a;\ r,\varphi\notin S'} = 0. \quad (24)$$

При выводе формулы (22) использовалось равенство

$$\mathrm{div}(v_n'\cdot G(r,r')) = \mathrm{div}(\vec{v}_n)\cdot G(r,r') +$$
$$+v_n\cdot\frac{\vec{r}}{r}\cdot\mathrm{grad}(G(r,r')) = \quad (25)$$
$$= \mathrm{div}(\vec{v}_n)\cdot G(r,r') +$$
$$+v_n\cdot\frac{\partial G(r,r')}{\partial r'} = \mathrm{div}(\vec{v}_n)\cdot G(r,r'),$$

т.к. при $r'\to a$ выполняются граничные условия (24).

Функция Грина при $\vec{r}\neq\vec{r}'$ должна удовлетворять однородному волновому уравнению (23) и обладать свойством симметрии $G(\vec{r},\vec{r}') = G(\vec{r}',\vec{r})$, ее можно представить виде линейной комбинации плоской однородной волны (12) и неоднородных волн (18) следующим образом:

$$G(\vec{r},\vec{r}') = A_{00}\exp[-ik|z-z'|/(1+M)] +$$
$$+\sum_{\substack{m=0\\n=1}}^{\infty} A_{mn}J_m(\chi_{mn}r/a)J_m(\chi_{mn}r'/a)\cdot \quad (26)$$
$$\cdot\begin{cases}\cos[m(\varphi+\pi/2)]\cos[m(\varphi'+\pi/2)]\\ \sin[m(\varphi+\pi/2)]\sin[m(\varphi'+\pi/2)]\end{cases}\times$$
$$\times\exp(-\gamma_{mn}^{v}|z-z'|),$$

После подстановки этого выражения в уравнение (23) приходим к уравнению

$$A_{00}\left[(1-M^2)\frac{\partial^2}{\partial^2 z} - 2ikM\frac{\partial}{\partial z} + k^2\right]\times$$
$$\times\exp[-ik|z-z'|/(1+M)] +$$
$$+\sum_{\substack{m=0\\n=1}}^{\infty} A_{mn}J_m(\chi_{mn}r/a)J_m(\chi_{mn}r'/a)\times$$
$$\times\begin{cases}\cos(m\varphi)\cos(m\varphi')\\ \sin(m\varphi)\sin(m\varphi')\end{cases}\cdot \quad (27)$$
$$\cdot\left[(1-M^2)\frac{\partial^2}{\partial^2 z} - 2ikM\frac{\partial}{\partial z} + k^2 - \frac{\chi_{mn}^2}{a_2}\right]\cdot$$
$$\cdot\exp(-\gamma_{mn}|z-z'|) =$$
$$= -\delta(r-r')\delta(\varphi-\varphi')\delta(z-z').$$

которое, используя ортогональность тригонометрических функций на интервале $[0,2\pi]$ и ортогональность функций Бесселя $J_m(\chi_{mn}r/a)$ на интервале [0,a] [15,16], преобразуется в следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$A_{mn}\cdot\left[(1-M^2)\frac{d^2}{d^2 z} - 2ikM\frac{d}{dz} + k^2 - \frac{\chi_{mn}^2}{a_2}\right]\times$$
$$\times\exp(-\gamma_{mn}|z-z'|) =$$
$$= -\frac{2}{(1+\delta_m^0)\pi a^2(1-\frac{m^2}{\chi_{mn}^2})J_m^2(\chi_{mn})}\delta(z-z'), \quad (28)$$
$$m = 0,1,2,...;\quad n = 1,2,...$$

Проинтегрировав первое уравнение в системе (28), по z на отрезке $[z'-0, z'+0]$, получаем:

$$A_{00}\left[(1-M^2)\frac{d}{dz}\exp(-\frac{ik|z-z'|}{1+M})\Big|_{z'-0}^{z'+0} - \right.$$

$$-2ikM\exp(-\frac{ik|z-z'|}{1+M})\Big|_{z'-0}^{z'+0} +$$

$$\left.+k^2\cdot\exp(-\frac{ik|z-z'|}{1+M})\cdot(z'+0-z'+0)\right] = -\frac{1}{\pi a^2}.$$

С учетом того, что $\exp[-ik(\pm 0] = \to 1$ и $2(+0) \to 0$, из последнего равенства получаем $2ik(1-M\cdot)A_{00} = 1/(\pi a^2)$. Следовательно, можем записать

$$A_{00} = \frac{-i}{2\pi a^2 k(1-M)}. \qquad (29)$$

Проделав аналогичную операцию с остальными уравнениями (28), находим значения остальных коэффициентов функции Грина

$$A_{mn} = \frac{1}{(1+\delta_m^0)\pi a^2\gamma_{mn}(1-M^2)(1-\frac{m^2}{\chi_{mn}^2})J_m^2(\chi_{mn})}, \qquad (30)$$

$$m = 0,1,2,...; \qquad n = 1.2,...$$

Подставив (29) и (30) в выражение (26), получаем функцию Грина для трубы, заполненной подвижной акустической средой.

$$G_v(\vec{r},\vec{r}') = \frac{-i}{2\pi a^2 k(1-M)}\cdot\times$$

$$\times\exp[-ik|z-z'|/(1+M)] +$$

$$+\sum_{\substack{m=0\\n=l}}^{\infty}\frac{1}{(1+\delta_m^0)\pi a^2\gamma_{mn}(1-M^2)(1-\frac{m^2}{\chi_{mn}^2})J_m^2(\chi_{mn})}\times$$

$$\times J_m(\chi_{mn}r/a)J_m(\chi_{mn}r'/a)\cdot \qquad (31)$$

$$\cdot\begin{cases}\cos[m(\varphi+\pi/2)]\cos[m(\varphi'+\pi/2)]\times\\ \times\exp(-\gamma_{mn}^v|z-z'|),\\ \sin[m(\varphi+\pi/2)]\sin[m(\varphi'+\pi/2)]\times\\ \times\exp(-\gamma_{mn}^v|z-z'|),\end{cases}$$

Анализ этой формулы показывает, что амплитуда возбуждаемой однородной плоской волны тем больше, чем больше число Маха. Амплитуды возбуждаемых неоднородных плоских волн зависят от числа Маха на порядок слабее по сравнению с амплитудой однородной плоской волны.

**Заключение**

В данной работе теоретически показано, что в трубе, заполненной движущейся средой, существуют распространяющаяся однородная плоская волна и различные виды неоднородных плоских волн, условия распространения которых определяются поперечными геометрическими размерами трубы и частотой возбуждаемых волн. Для трубы с потоком критические частоты неоднородных плоских волн ниже, чем для трубы с неподвижной средой.

Установлено, что фазовая скорость однородной плоской волны равна сумме скорости этой волны в неограниченной акустической среде и скорости среды в трубе, т.е. приращение фазовой скорости, связанное с движением акустической среды, равно скорости потока.

На частотах ниже своих критических частот для подвижной среды неоднородные плоские волны являются экспоненциально убывающими волнами. На частотах выше критической частоты для подвижной среды, но ниже критической частоты для неподвижной среды, неоднородные плоские волны являются обратными затухающими волнами. На частотах выше критической частоты для неподвижной среды неоднородные плоские волны являются распространяющимися волнами.

При небольших числах Маха $0 < M < 0,3$, затухания неоднородных плоских волн в трубе, заполненной подвижной акустической средой, примерно такое же, как и в трубе с неподвижной средой.

**Список литературы**

1. Лепендин П.Ф. Акустика. М.: Высшая школа, 1978. 488 с.

2. Шендеров Е.Л. Излучение и рассеяние звука. Л.: Судостроение, 1989. 302 с.

3. Свердлин Г.М. Прикладная гидроакустика. Л.: Судостроение, 1990. 319 с.

4. Ржевкин С.Н. Курс лекций по теории звука. М.: Московский университет, 1960. 337 с.

5. Рыбак С.А. Нормальные волны в слоисто-цилиндрических оболочках // Акустический журнал. 1979. Т.25. №1. С. 10-22.

6. Кремлева О.А., Шкундин С.З. Метод расчета акустического поля внутри конечного цилиндрического канала с потоком //Акустический журнал. 1998. Т.44. №1. С.84-88.

7. Шендеров Е.Л. Излучение звука полосой в движущуюся среду // Акустический журнал. 1966. Т.12. №1. С. 98-109.

8. Тютекин В.В. Круговые и спирально-винтовые нормальные волны цилиндрического волновода // Акустический журнал. 2006. Т.52. №4. С.549-555.

9. Блохинцев Д.И. Акустика неоднородных движущихся сред. М.: Наука, 1981. 207 с.

10. Кремлёвский П. П. Расходомеры и счётчики количества: справочник. 4-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1989. 701 с.

11. Цейтлин В. Г. Расходоизмерительная техника. М.: Изд-во стандартов, 1977. 240 с.

12. Бобровников, Г.Н., Новожилов Б.М., Сарафанов В.Г. Бесконтактные расходомеры. М.: Машиностроение, 1985. 128 с.

13. Ультразвуковой расходометр US 800 (счетчик воды, счетчик жидкостей). URL: http//promrezerv.ru/prob/p1.htm.

14. Эльсгольц Л.Е. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1969. 424 с.

15. Справочник по специальным функциям / под ред М. Абрамовиц и И.Стиган. М.: Наука, 1979. 830 с.

16. Корн Г.и Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / пер. с англ. под общ. ред. И.Г.Арамановича. М.: Наука, 1973. 832 с.

*Получено 25.05.12*

**V.M.Butorin,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: bvmwind@mail.ru)

**V.E.Drejzin,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: drejzin_ve@mail.ru)

**V.V.Sviridov,** Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

**ACOUSTIC WAVES IN THE PIPE WITH THE STREAM**

*The method of division of variables solves the wave equation describing acoustic waves in a pipe, by the filled mobile environment. Formulas for calculation of factors of a phase of homogeneous and non-uniform flat waves which can be raised in the given system are resulted. The analysis of these formulas has allowed to establish influence of speed of the acoustic environment on phase speeds and factors of attenuation of homogeneous and non-uniform flat waves. Expression for Green's function which enables to expect as amplitude of raised acoustic waves in a pipe with a stream, and distribution of an acoustic field inside a pipe is received. Influence of speed of the acoustic environment on amplitudes of raised homogeneous and non-uniform flat waves is investigated.*

***Key words**: acoustic waves, a pipe, a stream, the acoustic environment, a flat homogeneous wave, flat non-uniform waves, Green's function.*

УДК 517.711.3

**В.В. Свиридов,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

# ПРАКТИКА РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

*Дано описание системы алгоритмов и программ, разработанных в системе математических вычислений пакета MATHCAD для решения плоских задач теории теплопроводности.*

***Ключевые слова:*** *конечные элементы, краевая задача, слабая форма краевой задачи, генератор сеток, компьютерное моделирование.*

***

Использование метода конечных элементов для математического моделирования объектов техники и технологических процессов в настоящее время достигло зрелой стадии и имеет широкую и многообразную основу в виде набора алгоритмов, пакетов прикладных программ, теоретических результатов различного свойства. Но в повседневной практике моделирования и дизайна часто возникают дополнительные вопросы и идеи, которые трудно, а порой и невозможно решить в полном объеме, опираясь на стандартные пакеты. К тому же всегда остается актуальной проблема возможных ошибок в чужом программном обеспечении. Представляется очевидным, что единственный путь преодоления указанных сложностей – это разработка и поддержка собственного программного обеспечения, все части которого находятся под постоянным контролем исследователя, подвергаются необходимым периодическим проверкам и модификациям. В то же время такие разработки должны сохранять главное преимущество промышленных программных продуктов, а именно вычислительную мощь, позволяющую проводить вычисления на большом количестве конечных элементов и при плотных расчетных сетках.

В данной работе описана успешная попытка создания такой программной системы, предназначенной для численного моделирования разнообразных электромагнитных, механических и тепловых процессов, примененная в данном случае для всестороннего исследования плоской стационарной тепловой задачи о теплопроводности несимметрической тепловой изоляции теплонесущей трубы.

## Техническая постановка модельной задачи

Требуется определить распределение температуры и суммарный тепловой поток на один погонный метр трубы, имеющей внешний диаметр 5 см, нагретой до температуры 180°С на поверхности, помещенной во внешний теплоизолирующий цилиндр диаметром 15 см со смещением 2,5 см от центрального положения. Температура на поверхности изолирующего цилиндра составляет 20°С. Изолирующий цилиндр изготовлен из материала, характеризуемого коэффициентом теплопроводности $k = 0{,}058$ Вт/(м·°С). Вид поперечного сечения изолированной теплонесущей трубы изображен на рисунке 1.

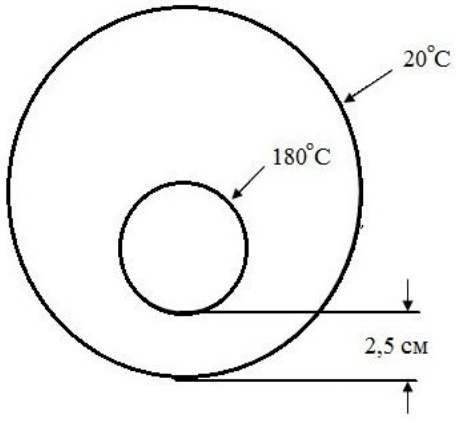



Рис. 1. Поперечное сечение изолированной теплонесущей трубы

## Цели исследования

Были поставлены следующие цели математического моделирования:

– Построить математическую модель в форме краевой задачи для уравнения в частных производных.

– Привести слабую формулировку.

– Построить конечно-элементную модель с использованием стандартных треугольных элементов.

– Написать специальную MATHCAD программу, позволяющую строить расчетную сетку конечных элементов с использованием устанавливаемых параметров измельчения.

– Выполнить численные расчеты по методу конечных элементов, с уплотняющейся сеткой элементов.

– Оценить сходимость численного решения к точному решению в отдельных точках области по параметру максимального диаметра используемых конечных элементов расчетной сетки.

– Рассчитать поток теплоотдачи через слой теплоизоляции в расчете на один погонный метод трубопровода.

– Проанализировать сходимость интегральной характеристики предыдущего пункта при измельчении сетки.

– Путем численного моделирования с использованием построенной программы получить эмпирическую зависимость стационарного выходящего потока от величины смещения dh внутренней трубы от центральной оси.

– В предельном случае dh = 0 найти точное решение и сравнить его с приближенным.

Представлялось несомненным, что выполнение всей указанной программы исследования путем использования одного из стандартных пакетов вряд ли представляло собой простую задачу. Было принято решение строить независимое программное обеспечение. В рамках этой работы все поставленные цели были успешно достигнуты. Была поставлена краевая задача для области изоляции $D$, ограниченной эксцентрично расположенными окружностями $C_1, C_2$:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}=0,\ (x,y)\in D,\\ &u(x,y)=20,\ (x,y)\in C1,\\ &u(x,y)=180,\ (x,y)\in C2, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $u(x,y)$ – распределение температуры в теплоизолирующем слое

В соответствии со стандартной технологией конечно-элементного моделирования была получена слабая форма краевой задачи:

найти функцию $u\in H^1(D)$ такую, что

$$\begin{aligned} &u(x,y)=20,(x,y)\in C1,\\ &u(x,y)=180,(x,y)\in C2, \end{aligned} \qquad (2)$$

которая для всех $w\in H_0^1(D)$ удовлетворяет интегральному тождеству

$$\iint_D\left(\frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\frac{\partial w}{\partial y}\right)=0, \qquad (3)$$

где $w$ – пробная функция интегрального тождества.

Для численного решения слабой задачи в рамках использования пакета MATHCAD и его системы программирования был построен генератор сеток для данной задачи с заданными параметрами плотности конструируемой сетки, который генерирует конечно-элементную сеть (рис. 2).

По слабой формулировке краевой задачи была получена система алгебраических уравнений относительно значений стационарной температуры в узлах элементов, которая решалась методом Холесского с учетом слабой заполненности матрицы системы. Тщательная реализация метода квадратного корня Холесского позволила достичь высокой скорости расчета и экономии памяти системы на сетях с числом узлов порядка 10000.

Гибкость программного обеспечения, достигаемая для независимой разра-

ботки, позволила построить конечную MTHCAD программу по методу конечных элементов в виде функции

$$\text{Solve}(Nf, Nr, dh, R, r, T1, T2, k, eps),$$

где Nf – число радиальных полос, на которые делится область теплоизолирующей оболочки;

Nr – кратность деления радиальной полосы на конечные элементы;

R – радиус внешней изолирующей трубы;

r – радиус внутренней трубы;

T2 – температура на поверхности внутренней нагретой трубы;

T1 – температура на внешней поверхности изолирующей оболочки;

dh – смещение внутренней трубы относительно продольной оси внешней трубы;

k – коэффициент теплопроводности материала теплоизолятора;

eps – параметр точности округления.

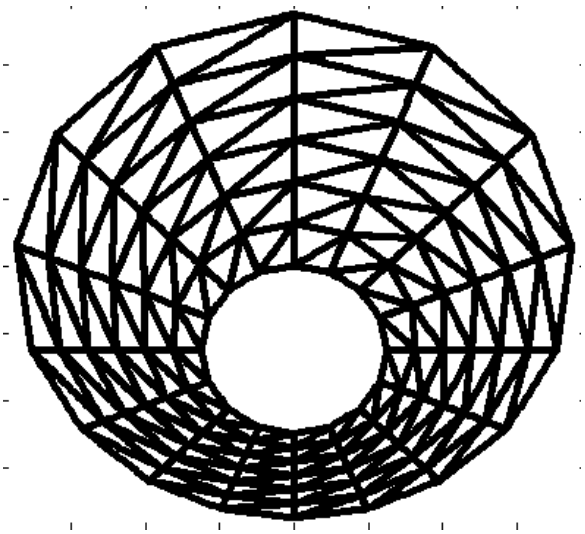


Рис. 2. Конечно-элементная сеть в теплоизолирующем слое

Программа возвращает массив температур в узлах сетки и величину потока через внешний контур изоляции. В данном варианте написанная программа легко модифицируется для решения конкретных исследовательских задач. Например, для получения теплового потока в зависимости от величины эксцентриситета был использован следующий фрагмент кода:

$$d(h) := (\text{Solve}(36, 16, h, 7.5, 2.5, 20, 180, 0.02, 0.001)_1)_2$$

$$h := 0, 0.1 \ldots 3.$$

Результат вычислений представлен на рисунке 3.

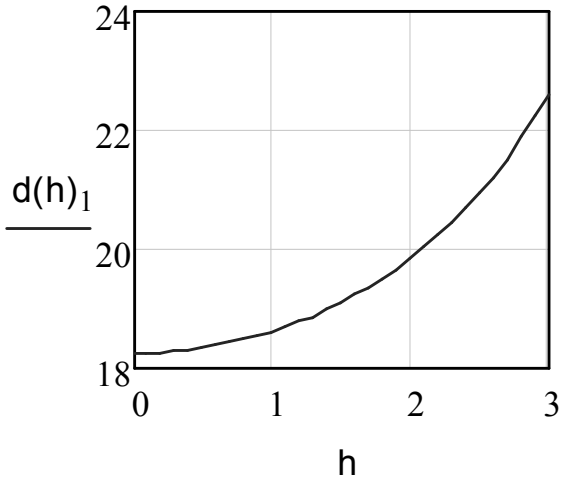
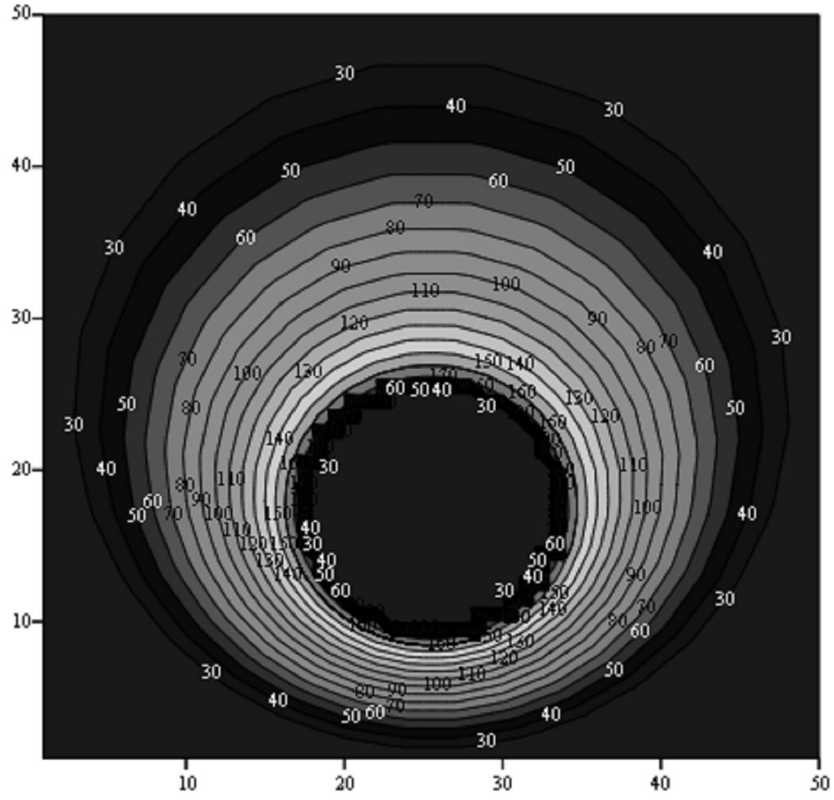



Рис. 3. Зависимость теплопотерь от эксцентриситета внутренней трубы

Плотность сетки также является устанавливаемым параметром, по данной характеристике были проведены различные численные эксперименты с целью установления сходимости температур и потоков при увеличении числа элементов. Сходимость наблюдалась, была четко выраженной и соответствовала теоретическим предсказаниям.

Стандартный результат, типичный для распространенных конечно-элементных пакетов и состоящий в графической иллюстрации расчетного поля температур, также легко достигается в системе MATHCAD. В данном случае он имеет вид, представленный на рисунке 4.




M

Рис. 4. Расчётное поле температур

**Список литературы**

1. Корнеев В.Г. Схемы метода конечных элементов высоких порядков точности. Л., 1977. 205 с.

2. Лоран П.-Ж. Аппроксимация и оптимизация: [пер. с франц.]. М.: Мир, 1975.

3. Митчелл Э., Уэйт Р. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными: [пер. с англ.]. М.: Мир, 1981.

4. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов: [пер. с англ.].. М.: Мир, 1977.

5. Сьярле Ф. Метод конечных элементов для эллиптических задач: [пер. с англ.]. М.: Мир, 1980.

*Получено 01.08.12*

**V.V. Sviridov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

**THE PRACTICE OF DEVELOPING A SYSTEM OF MATHEMATICAL SIMULATIONS USING THE FINITE ELEMENT EXAMPLE OF THE PLANE PROBLEM FOR THE HEAT**

*A description and results of MATHCAD program of finite elements method for 2d heat problem are given.*

***Key words:*** *finite elements, boundary value problem, a weak form of the boundary value problem, mesh generator, computer simulation.*

УДК 654.17

**А.В. Белов,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: kvrkstu2010@rambler.ru)

# ФОРМИРОВАНИЕ КЛАССИФИКАТОРА С НЕЧЕТКИМИ ГРАНИЦАМИ НА ОСНОВАНИИ КРИВЫХ, ЗАПОЛНЯЮЩИХ ДИСКРЕТНОЕ ПРИЗНАКОВОЕ ПРОСТРАНСТВО

*Приводится процедура минимизации классификатора с нечеткими границами, представленного в виде отношения Пеано.*

***Ключевые слова:*** *классификация, нечеткая логика, октодерево.*

***

**Постановка задачи**. По экспериментальным данным построено облако точек в Евклидовом трехмерном пространстве $E^3$ классифицирующих признаков. В качестве классифицирующих признаков используются компоненты значения цвета пикселя в цветовой системе RGB. Отсюда

$$E^3 = \{(r,g,b) \mid r \in [0,1,...,255],$$
$$g \in [0,1,...,255],$$
$$b \in [0,1,...,255]\}.$$

Трехмерное пространство преобразуется в одномерное *CS* с использованием кривых, заполняющих пространство, таких, например, как кривая Гильберта или кривая Лебега [1].

Облако классифицирующих точек задано в виде отношения Пеано [2]

$$r(CS, Lev, SId, M),$$

где $CS = \{cs \mid cs \in [0,1,...256 \cdot 256 \cdot 256 - 1]\}$ - множество кодов кривой, заполняющей дискретное пространство $E^3$;

$Lev = \{lev \mid lev \in [0,1,...,8]\}$ - множество номеров уровней октантов в кортеже отношения Пеано;

$SId = \{sid \mid sid \in [1,2,...,2^{32} - 1]\}$ - множество номеров идентификаторов классов в кортеже отношения Пеано;

$M = \{\mu \mid \mu \in [0,1]\}$ - множество значений функций принадлежности $0 \le \mu_{sid}(cs) \le 1$ точки cs к классу sid.

Кортежи с cs, для которых $\mu_{sid}(cs) = 0$, в отношении r не хранятся.

Кортежи с cs, для которых $\mu_{sid}(cs) = 1$, в отношении $r$ встречаются один и только один раз.

Кортежи с cs, для которых $0 < \mu_{sid_i}(cs) < 1$, в отношении r встречаются несколько раз, но при этом $\sum_i \mu_{sid_i}(cs) = 1$.

Октантом в CS называется последовательность кодов $cs$ с количеством элементов, равным $8^{lev}, lev = 0,1,...,8$, начинающихся со значения cs, удовлетворяющего условию $lev = \max_{lev}(cs \bmod 8^{lev} = 0)$.

Октанту с уровнем lev в *CS* соответствует куб в трехмерном пространстве $E^3$, содержащий $8^{lev}$ единичных кубов.

В отношении r для всех кортежей $lev = 0$.

Задача: получить из отношения $r(CS, Lev, SId, M)$ отношение $ar(CS, Lev, SId, M)$ с меньшим количеством кортежей, в некоторых из которых $0 < lev < 8$.

**Решение поставленной задачи.** Процедура получения отношения $ar(CS, Lev, SId, \mu)$ производится на основе критерия гомогенности октантов пространства *CS*. Перед началом процедуры $ar(CS, Lev, SId, M) = \varnothing$.

Из отношения $r(CS, Lev, SId, M)$ формируется отношение $r_1(CS_0, Lev_0, SId_0, CS_1)$, в котором атрибуты каждого кортежа формируются на основании следующих равенств:

$$cs_0 = cs, lev_0 = lev,$$
$$sid_0 = \begin{cases} 0, \text{если } \mu_{sid}(cs) < 1, \\ sid, \text{если } \mu_{sid}(cs) = 1, \end{cases}$$
$$cs_1 = (cs_0 \text{ div } 8) \cdot 8.$$

На основании $r(CS, Lev, SId, M)$ формируется отношение $ar(CS, Lev, SId, CS, M) = ar \bigcup \sigma_{\mu<1}(r)$, где $\sigma_{\mu<1}(r)$ - операция выборки кортежей из r, в которых $0 < \mu_{sid}(cs) < 1$.

Далее осуществляется итерационная процедура с номерами итераций $1 \le k \le |Lev| = 8$.

Пусть $t_{k,l}(cs_{k-1,l}, lev_{k-1,l}, sid_{k-1,l}, cs_{k,l})$ - любой l-ный кортеж отношения $r_k(CS_{k-1}, Lev_{k-1}, SId_{k-1}, CS_k)$, а $\rho \in [1/|Lev|, 2/|Lev|, ..., |Lev|/|Lev|]$ - коэффициент компактности.

Отношение $r_k(CS_{k-1}, Lev_{k-1}, SId_{k-1}, CS_k)$ сортируется по $CS_k$ и формируются классы эквивалентностей кортежей $r_k$: $AE_k$, представляющие аппроксимирующие октанты; $HE_k$, представляющие гомогенные октанты; $E_k$, представляющие негомогенные октанты. При этом:

$$AE_k = \{t_{k,l}(cs_{k,l}, lev_{k,l}, sid_{k.l}, cs_{k+1,l}) \mid \forall(t_{k,i} \in AE_k)\forall(t_{k,j} \in AE_k) sid_{k,i} = sid_{k,j} \,\&\, cs_{k,i} = cs_{k,j}\} \,\&\, |AE_k|/|Lev| \ge \rho;$$

$$HE_k = \{t_{k,l}(cs_{k,l}, lev_{k,l}, sid_{k.l}, cs_{k+1,l}) \mid \forall(t_{k,i} \in HE_k)\forall(t_{k,j} \in HE_k) sid_{k,i} = sid_{k,j} \,\&\, cs_{k,i} = cs_{k,j}\} \,\&\, |HE_k|/|Lev| < \rho;$$

$$E_k = \{t_{k,l}(cs_{k,l}, lev_{k,l}, sid_{k.l}, cs_{k+1,l}) \mid \forall(t_{k,i} \in E_k)\forall(t_{k,j} \in E_k) cs_{k,i} = cs_{k,j} \,\&\, \exists(t_{k,i} \in E_k)\exists(t_{k,j} \in E_k) sid_{k,i} \ne sid_{k,j}\}.$$

Из каждого класса $AE_k$ формируется кортеж $t_{k+1}(cs_k, lev_k, sid_k, cs_{k+1})$, добавляемый к отношению $r_{k+1}(CS_k, Lev_k, SId_k, CS_{k+1})$, атрибуты которого определяются на основании равенств:

$$lev_k = lev_{k-1} + 1,\ sid_k = sid_{k-1},$$

$$cs_{k+1} = (cs_k \ \text{div}\ 8^{k+1}) \cdot 8^{k+1}.$$

Из каждого класса $HE_k$ формируется кортеж $t_{k+1}(cs_k, lev_k, sid_k, cs_{k+1})$, добавляемый к отношению $r_{k+1}(CS_k, Lev_k, SId_k, CS_{k+1})$, атрибуты которого определяются на основании равенств:

$$lev_k = lev_{k-1} + 1,\ sid_k = 0,$$

$$cs_{k+1} = (cs_k \ \text{div}\ 8^{k+1}) \cdot 8^{k+1}.$$

Все кортежи класса $HE_k$ добавляются к отношению $ar(CS, Lev, SId, M)$ со значениями атрибутов, которые определяются на основании равенств:

$$cs = cs_k,\ lev = lev_{k-1},\ sid = sid_{k-1},\ \mu = 1.$$

Из каждого класса $E_k$ формируется кортеж $t_{k+1}(cs_k, lev_k, sid_k, cs_{k+1})$, добавляемый к отношению $r_{k+1}(CS_k, Lev_k, SId_k, CS_{k+1})$, атрибуты которого определяются на основании равенств:

$$lev_k = lev_{k-1} + 1,\ sid_k = 0,$$

$$cs_{k+1} = (cs_k \ \text{div}\ 8^{k+1}) \cdot 8^{k+1}.$$

Каждый кортеж класса $E_k$, в котором $sid_{k-1} \ne 0$ добавляются к отношению $ar(CS, Lev, SId, M)$ со значениями атрибутов, которые определяются на основании равенств:

$$cs = cs_k,\ lev = lev_{k-1},\ sid = sid_{k-1},\ \mu = 1.$$

Процедура заканчивает работу, если на шаге *к* в отношении $r_k(CS_{k-1}, Lev_{k-1}, SId_{k-1}, CS_k)$ нет ни одного класса эквивалентности $AE_k$.

Отношение $ar(CS, Lev, SId, M)$ представляет классификатор на основании октантов линейного октодерева [2]. Более компактным его представлением является представление в виде отношения $s(BCS, ECS, SId, M)$ отрезков кривых, заполняющих пространство [2]. Формируется *s* следующим образом.

На первом этапе из $ar(CS, Lev, SId, M)$ производится выборка $\sigma_{\mu<1}(ar)$. Из каждого кортежа этой выборки формируется кортеж $ts(cs, cs, sid, \mu)$, который добавляется к

$s(BCS, ECS, SId, M)$. Первоначально $s(BCS, ECS, SId, M) = \varnothing$.

Затем кортежи отношения $ar \setminus \sigma_{\mu<l}(ar)$ сортируются по cs в виде последовательности $t_1, t_2, ..., t_l, ....$ В этой последовательности выделяются максимальные по количеству кортежей подпоследовательности $t_b, ..., t_i, t_j, ..., t_e$, в которых $cs_i + 8^{lev_i} = cs_j$, $sid_i = sid_j$.

Из каждой такой последовательности формируется кортеж $ts(cs_b, cs_e + 8^{lev_e}, sid_b, 1)$, который добавляется к $s(BCS, ECS, SId, M)$.

1. Sagan H. Space Filling Curves, Springer-Verlag. New York, 1994. 197 pp.

2. Laurini R., Thompson D. Fandumentals of Spatial Information Systems. London: ACADEMIC PRESS LIMITED, 1992. 680 pp.

*Получено 19.07.12*

**A.V. Belov,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kvrkstu2010@rambler.ru)

**QUALIFIER FORMATION WITH FUZZY BORDERS ON THE BASIS OF THE CURVES FILLING DISCRETE ATTRIBUTE SPACE**

*Procedure of minimization of the qualifier with the fuzzy borders, Peano presented in the form of the relation is given*
***Key words**: classification, fuzzy logic, octotree.*

УДК 004.31

**Е.А. Титенко,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)

**В.С. Титов,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: titov@vt.kstu.kursk.ru)

**А.П. Коновальчик,** инженер-программист ООО «Фаствел» (г.Москва)
(e-mail: konovalchik@fastwel.ru)

**ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПЛИС**

*В статье рассмотрены особенности построения высокопроизводительных систем на основе ПЛИС последнего поколения. Подробно раскрыты вопросы организации архитектуры комплекса, позволяющей заметно превосходить все отечественные и зарубежные аналоги, а также существенно расширить спектр решаемых задач.*

***Ключевые слова:**вычислительные системы, архитектура комплекса, ПЛИС.*

***

Задача построения суперкомпьютеров с каждым днём приобретает все большую актуальность и становится флагманом в передовых разработках науки и техники, что подтверждается растущим спросом на высокопроизводительные вычисления со стороны коммерческих, государственных и научных организаций.

Ключевой тенденцией в решении важнейших научно-технических задач становится непрерывное увеличение производительности вычислительных комплексов. Производительность однопроцессорных компьютеров практически достигла предела. Возможности дальнейшего роста производительности с помощью уменьшения технологических норм практически исчерпаны. Кроме того, при увеличении плотности размещения транзисторов на кристалле значительно возрастает сложность процессоров, поэтому прирост производительности не пропорционален затрачиваемым аппаратным ресурсам и энергии. Не помогает дальнейшее наращивание объемов кэш-памяти микропроцессоров, а также числа одновременного выполнения команд. Заявленные производителями пиковые характеристики процессоров прак-

тически не достижимы без низкоуровневого программирования. Большинство трудоемких вычислительных задач выполняется на массовых микропроцессорах с низкой эффективностью и составляет не более 10÷20% [1]. Если десять лет назад компьютерному сообществу казалось, что вычислительная техника может неограниченно развиваться, совершенствуя микропроцессорные схемотехнические и технологические решения, то сейчас ясно, что без координатной перестройки архитектуры вычислительной техники сохранить темп роста производительности невозможно. Одним из способов повышения производительности вычислительных систем является распараллеливание вычислительных процессов. В то же время реальная производительность многопроцессорных вычислительных систем, которые ориентированы на традиционные методы организации параллельных вычислений и представляют собой механистически соединенные традиционные микропроцессоры, зачастую не превышает 10÷15% от заявляемой пиковой производительности вследствие необходимости реализации множества процедур межпроцессорного обмена, а также синхронизации последовательных процессов, выполняемых в процессорах системы [2]. Основная причина – это несоответствие между «жесткой» архитектурой вычислительной системы и информационной структурой решаемых задач, из-за чего существующие суперкомпьютеры и работают столь неэффективно. Данный недостаток позволяет устранить способ построения ВС с «гибкой», динамически перестраиваемой (программируемой) архитектурой [3], подстраиваемой под информационную структуру конкретной задачи. Практическое внедрение данной концепции сдерживалось отсутствием необходимой для ее реализации реконфигурируемой элементной базы. В последние годы такая элементная база на рынке появилась – это программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) высокой степени интеграции. На основе ПЛИС возможно без привлечения больших финансовых затратсоздавать ВВС с программируемой архитектурой, существенно опережающие существующие аналоги по многим ключевым характеристикам.

По этому пути уже идут ведущие мировые производители. В то же время западные и отечественные производители используют ПЛИС, как правило, только в качестве сопроцессоров к стандартным вычислительным узлам − универсальным микропроцессорам. Концепция же построения ВС с программируемой архитектурой предполагает использовать ПЛИС в качестве базы для создания реконфигурируемых вычислительных систем, адаптируемых под структуру решаемой задачи. В качестве основного вычислительного элемента используются вычислительные структуры, созданные в поле логических блоков ПЛИС, в то время как небольшое количество универсальных микропроцессоров выполняют вспомогательные функции: загрузку конфигураций ПЛИС, обмен данными, управление, тестирование, загрузку исходных данных, визуализацию результатов и т.п.

Высокопроизводительные вычислительные системы (ВВС) на основе ПЛИС предназначены для решения задач, требующих обработки сверхбольших информационных массивов и потоков. Современная тенденция к высокой плотности вычислений предъявляет особые требования к архитектуре построения ВВС и акцентирует внимание на достижении максимальной производительности при таких конструктивных ограничениях, как высота (1U), потребляемая мощность и тепловыделение. Имеющиеся на сегодняшний день вычислители на базе ПЛИС в основном узко ориентированы на решение задач обработки по одному и тому же алгоритму большого количества порций (вариантов) входных данных и до недавнего времени заметно уступали там, где требовались вычисления, связанные с высокоскоростной передачей данных, как

между элементами ВВС, так и при взаимодействии ВВС с другими элементами кластера.

В процессе построения любых программных систем, решения о функциональных возможностях и структуре отдельных компонент следует принимать после того, как будет разработана общая архитектура системы. Этот тезис верен в том числе и тогда, когда речь идет о написании программного продукта для высокопроизводительных кластеров на основе ПЛИС. Наряду с написанием конфигурационных файлов ПЛИС существует необходимость в обеспечении совместного функционирования всех вычислительных модулей кластера, координации и диспетчеризации вычислительного процесса.

В подавляющем большинстве случаев кластеры на основе ПЛИС применяются для решения математических задач (в том числе задач криптографии), при этом решения по объединению всех вычислительных блоков в единое вычислительное пространство заказчик формулирует самостоятельно. Такой вариант, вполне допустим при решении типовых задач. Однако круг задач, реализуемых на кластерах такого рода, значительно шире. Требования, предъявляемые к подобным системам их заказчиками, диктуют необходимость более специфического функционала, организации гораздо более сложного взаимодействия между узлами кластера, предъявляются существенные требования к пропускной способности каналов передачи данных. Этот список может быть расширен, однако уже на данном этапе становится ясно, что архитектурные и конструктивные требования Заказчиков таковы, что элементы ВВС должны обладать значительно большими функциональными характеристиками и давать возможность построения кластеров любых типов, в том числе в зависимости от решаемой задачи.

Современные ПЛИС[4], обладающие высокой емкостью (рис.1), теоретически обладают широкими возможностями для применения в качестве основных элементов ВВС. При этом главным препятствием к их использованию остается адекватная архитектура вычислителя (совокупности вычислителей - кластер), которая позволит наиболее широко применить все теоретические возможности. Таким образом, в качестве основной научной задачи требуется разработать новый тип вычислителя, позволяющий существенно расширить класс решаемых задач и вывести производительность на качественно новый уровень.

**Virtex-6 FPGA Feature Summary**

*Table 1:* **Virtex-6 FPGA Feature Summary by Device**

| Device | Logic Cells | Configurable Logic Blocks (CLBs) | | DSP48E1 Slices[2] | Block RAM Blocks | | | MMCMs[4] | Interface Blocks for PCI Express | Ethernet MACs[5] | Maximum Transceivers | | Total I/O Banks[6] | Max User I/O[7] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Slices[1] | Max Distributed RAM (Kb) | | 18 Kb[3] | 36 Kb | Max (Kb) | | | | GTX | GTH | | |
| XC6VLX75T | 74,496 | 11,640 | 1,045 | 288 | 312 | 156 | 5,616 | 6 | 1 | 4 | 12 | 0 | 9 | 360 |
| XC6VLX130T | 128,000 | 20,000 | 1,740 | 480 | 528 | 264 | 9,504 | 10 | 2 | 4 | 20 | 0 | 15 | 600 |
| XC6VLX195T | 199,680 | 31,200 | 3,040 | 640 | 688 | 344 | 12,384 | 10 | 2 | 4 | 20 | 0 | 15 | 600 |
| XC6VLX240T | 241,152 | 37,680 | 3,650 | 768 | 832 | 416 | 14,976 | 12 | 2 | 4 | 24 | 0 | 18 | 720 |
| XC6VLX365T | 364,032 | 56,880 | 4,130 | 576 | 832 | 416 | 14,976 | 12 | 2 | 4 | 24 | 0 | 18 | 720 |
| XC6VLX550T | 549,888 | 85,920 | 6,200 | 864 | 1,264 | 632 | 22,752 | 18 | 2 | 4 | 36 | 0 | 30 | 1200 |
| XC6VLX760 | 758,784 | 118,560 | 8,280 | 864 | 1,440 | 720 | 25,920 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 1200 |
| XC6VSX315T | 314,880 | 49,200 | 5,090 | 1,344 | 1,408 | 704 | 25,344 | 12 | 2 | 4 | 24 | 0 | 18 | 720 |
| XC6VSX475T | 476,160 | 74,400 | 7,640 | 2,016 | 2,128 | 1,064 | 38,304 | 18 | 2 | 4 | 36 | 0 | 21 | 840 |
| XC6VHX250T | 251,904 | 39,360 | 3,040 | 576 | 1,008 | 504 | 18,144 | 12 | 4 | 4 | 48 | 0 | 8 | 320 |
| XC6VHX255T | 253,440 | 39,600 | 3,050 | 576 | 1,032 | 516 | 18,576 | 12 | 2 | 2 | 24 | 24 | 12 | 480 |
| XC6VHX380T | 382,464 | 59,760 | 4,570 | 864 | 1,536 | 768 | 27,648 | 18 | 4 | 4 | 48 | 24 | 18 | 720 |
| XC6VHX565T | 566,784 | 88,560 | 6,370 | 864 | 1,824 | 912 | 32,832 | 18 | 4 | 4 | 48 | 24 | 18 | 720 |

Рис. 1

Учитывая широкий класс задач, требующих новых подходов к высокопроизводительным вычислениям, и вопросы, изложенные выше, требуется разработать принципиально новую архитектуру и построить ВВС основным вычислительным элементом которой будет ПЛИС Xilinx(XC6VSX475Тили XC6VLX550T) в форм-факторе 1U с высокоскоростной передачей данных между кристаллами внутри блока и имеющий адекватные интерфейсы связи с внешней средой. Данные теоретические аспекты изложены в виде научной разработки и представлены как вычислитель нового поколения – БВР-01 (рис.2). Данная система показала выдающиеся характеристики реальной производительности по широкому классу задач линейной алгебры, цифровой обработки сигналов, математической физики, моделирования, криптографии.

БВР-01 представляет собой законченный блок 19-дюймового конструктива высотой 1U с управляющим компьютером (УК) на базе процессора Intel Core2Duo и восемью ПЛИС Xilinx Virtex-6, соединенными между собой современным высокоскоростным интерфейсом PCI-Express Gen2.0. На БВР-01 могут устанавливаться любые ПЛИС из семейства Xilinx Virtex-6 LX240, LX365, LX550, SX315 или SX475. Модуль памяти EM-DDR3-2GB позволяет использовать DDR3 память в размере 1ГБ на ПЛИС.

**Вычислительный блок (вид сверху, без крышки)**

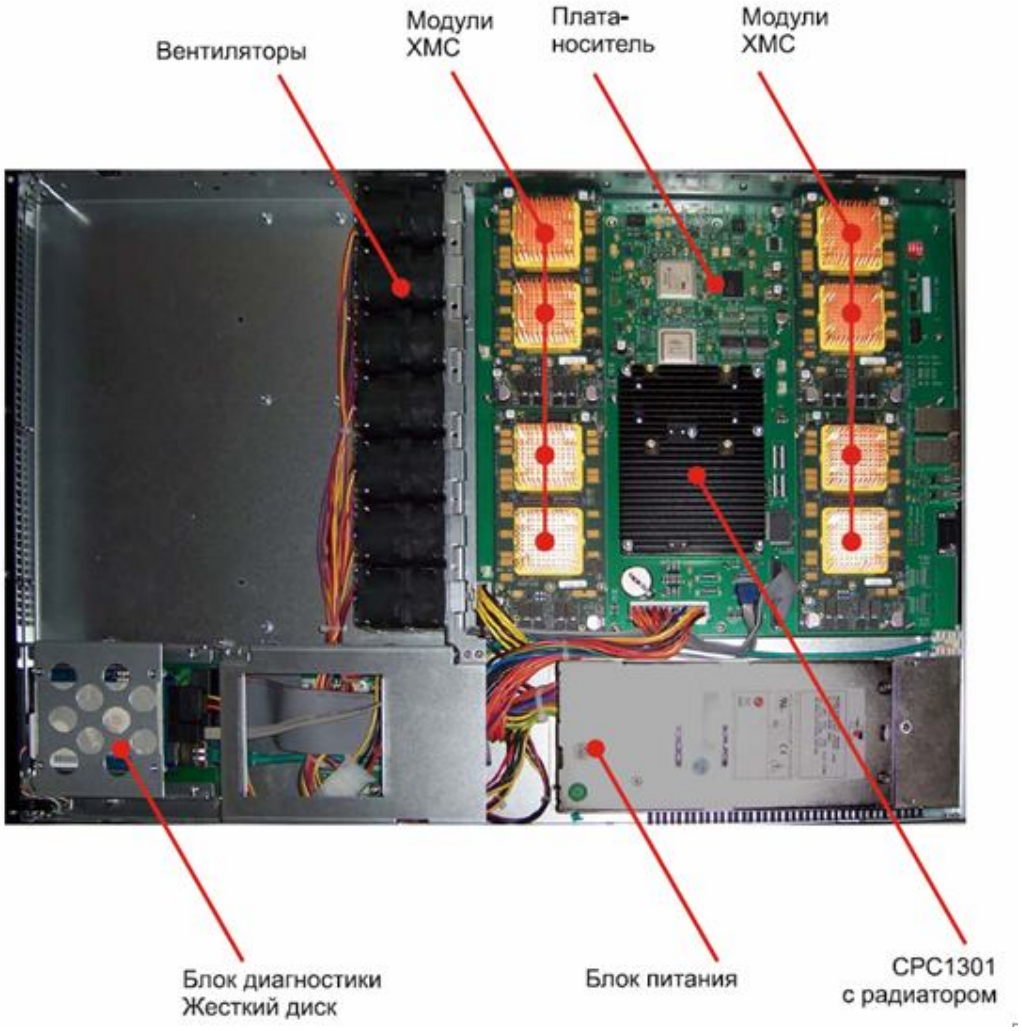



Рис. 2

Для подачи адекватного питания в БВР-01 применены интегрированные DC/DC преобразователи собственной разработки. Совместно с конструкцией печатных плат это обеспечивает питание более 100А по номиналу 1В на пару ПЛИС и позволяет использовать в БВР-01 самых больших и энергоемких кристаллов ПЛИС семейства Virtex-6.

Для реализации PCI-Express в БВР-01 предусмотрен коммутатор PEX8648 (PLC Technology, USA), с помощью которого каждый из 8-ми ПЛИС связан друг с другом и с УК и позволяет передавать данные по шине PCI-ExpressGen 2.0 с суммарной пропускной способностью на уровне 20 ГБ/с. Внешний порт PCI-Express позволяет каскадироватьБВР-01 с использованием медных или оптических кабелей.

Мониторинг, диагностика, данные по напряжению и температуре кристаллов ПЛИС и управление питанием БВР-01 производится с использованием специально для этого разработанного Модуля Диагностики (МД), который имеет отдельный сетевой выход FastEthernet и реализован с использованием web-интерфейса.

Габаритные размеры БВР-01 составляют ВхШхГ, мм (44х482х650), вес 25 кг брутто.

В целом БВР-01 представляет собой современный легко масштабируемый вычислитель на базе реконфигурируемых элементов ПЛИС Xilinx Virtex-6 (LX240, LX365, LX550, SX315 или SX475) общей производительности на уровне 10*14 оп/с и энергопотреблением менее 800 Вт.

В основу принципов разработки введены следующие понятия:

*Вычислительный элемент (ВЭ)*: в качестве основного (минимального) вычислительного элемента предлагается Модуль_ХМС с установленными на нем двумя ПЛИС Xilinx (LX550 или SX475).

*Управляющий компьютер (УК)*: в качестве управляющего компьютера предлагается com-expressмодуль CPC-1301.

*Плата_Extended_ATX*: плата-носитель с установленными на ней 4-мя ВЭ, УК, коммутатором PCI-expressи управляющим XILINXV5.

*Модуль диагностики (МД)*: в качестве модуля диагностики предлагается плата RDM, управляющаядиагностическими параметрами на БВР-01, в том числе напряжением и температурой и имеющая в своем составе сетевой выход FastEthernet.

*Блок вычислительный реконфигурируемый (БВР-01)*: основной вычислительный элемент, объединяющий в себе 4 ВЭ, УК, плату-носитель и МД. БВР-01 является базовым элементом построения кластера.

*Универсальность*: Возможность выполнения любых вычислительно-трудоемких задач.

*Масштабируемость*: возможность формировать кластер из любого количества БВР-01.

**Список литературы**

1. Волков Д. Реальность и фантазии // Открытые системы. 2006. №5.

2. СуперЭВМ: области применения и требования к производительности / О.С. Аладышев, Н.И. Дикарев, А.П. Овсянников, П.Н. Телегин, Б.М. Шабанов // Известия ВУЗов. Электроника. 2004. №1. С. 13-17.

3. Каляев А.В., Левин И.И. Модульно-наращиваемые многопроцессорные системы со структурно-процедурной организацией вычислений. М.: Янус-К, 2003. 380 с.

4. Virtex-6 Family Overview DS150 (v2.4) January 19, 2012.

*Получено 06.06.12*

**E.A. Titenko,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: johntit@mail.ru)

**V.S. Titov,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: titov@vt.kstu.kursk.ru)

**A.P. Konovalchik,** Engineer-Programmer,Fastwel Ltd (Moscow) (e-mail: konovalchik@fastwel.ru)

**HIGH PERFORMANCE COMPUTING SYSTEMSON THE BASIS OFFPGA**

*The article considers the features of high-performance systems on the basis of FPGA of the last generation. Detailed questions of the organization of the architecture of the complex, allowing to significantly surpass all domestic and foreign counterparts, as well as to significantly expand the range of problems being solved.*

***Key words:*** *computer systems, complex architecture, FPGA.*

УДК 629.786

**В.А. Пиккиев,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: rw3ww@mail.ru)

**С.Н. Самбуров,** главный специалист РКК «Энергия» Королев, Московской области) (e-mail:: rv3dr@mail.ru)

**Р.Ю Богомазов,** студент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail:: r3w-158@sporadic.ru)

**А.А. Луценко,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail:: anton@sporadic.ru)

## ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩАЯ СИСТЕМА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «КЕДР»

*Статья посвящена анализу работы приемо-передающей системы малого космического аппарата «Кедр». В работе приведены сведения о составе аппаратно-программного комплекса приемо-передающей системы и результатах его функционирования в составе малого космического аппарата «Кедр», находившегося на орбите Земли в течение 6 месяцев.*

***Ключевые слова:*** *спутник, космос, малый космический аппарат.*

***

Большинство малых космических аппаратов используют на высотах, не превышающих 1000 км. В связи с их маленькими размерами и ограниченными энергетическими характеристиками разместить на их борту мощную передающую аппаратуру не представляется возможным. Мощность передатчиков, установленных на них, не более 1Вт, но этой мощности вполне достаточно для устойчивого приёма сигналов на Земле.

Затухание радиосигнала в атмосфере неоднородно. С ростом частоты оно увеличивается. Поэтому самым выгодным с энергетической точки зрения являются низкочастотные УКВ-диапазоны, выделенные радиолюбителям. Для связи спутника «КЕДР» использованы 2 любительских УКВ-диапазона: 144МГц с борта (2м Downlink) и 435 МГц на борт (70см Uplink).

Для спутника «КЕДР» использовалась программно-задаваемое радио (ПЗР, англ. - soft-defined radio, SDR) - радиотелекоммуникационная система, которая может быть настроена на произвольную полосу частот и принимать различные виды модулированного сигнала, состоящая из программируемого оборудования с программным управлением.

Оборудование для ПЗР обычно состоит из супергетеродинного приемника, который преобразует сигнал с радиочастоты на промежуточную, аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователей. В настоящее время реализация SDR возможна пока только на низких частотах (десятки килогерц), поэтому в реальных устройствах проблема высококачественной оцифровки принимаемых ВЧ-сигналов решается их переносом на низкую частоту. Для этого используются смеситель и опорный генератор. Таким образом, требуется определенное аналоговое оборудование, чтобы направить часть спектра частот на обработку в компьютере.

Аналоговая часть выполнена по принципу прямого преобразования. Принимаемый сигнал через диапазонный полосовой фильтр (ДПФ) поступает на два смесителя, на которые от опорного генератора приходят сигналы одинаковой амплитуды, но с относительным сдвигом фазы $90^{o}$. Относительный сдвиг фазы между сигналами I (in-phase) и Q (quadrature) на выходе смесителей в этом случае также составляет $90^{o}$, а частота сигналов — приблизительно от 0 до 20 кГц. Если подать эти сигналы на звуковую карту персонального компьютера или на вход DSP, то можно программно выделить, продетектировать, продемодулировать, избавить от помех и т.д. любой сигнал. Этот принцип работы приемо-передающей системы использовался в малом космическом аппарате «КЕДР».

В соответствии с проведенными испытаниями и технической документацией уровень сигналов (табл.) приемо-передающего SDR тракта должен был обеспечивать эффективную работу канала связи с Землей.

Уровень сигналов

| Сигнал | Уровень ПЧ | Уровень ВЧ |
|---|---|---|
| CW | -16 dBm | 25 mW |
| FM | -6 dBm | 250 mW |
| BPSK | -10 dBm | 100 mW |
| Transponder | -9 dBm | 125 mW |

Основные характеристики приемо-передающей системы малого космического аппарата «КЕДР»:

1. Параметры приемника.

- Частота приема 435,735 – 435,7625 MHz
- Коэффициент шума: 3.5 dB
- AGC порог: -120 dBm
- Промежуточная частота: 10.7 MHz. at -13 dBm
- Питание: +8 Vdc @ 135 mA (1.08 watts)
- Точность частоты : +/- 1 PPM ( 435 Hz at 435 MHz)
- Стабильность частоты: +/- 2.5 PPM (-30 to +70C)
- Размеры платы: 2.35” (60 cm) X 2.8” (71 cm)

2. Параметры передатчика.

- Частота передачи: 145,9125 - 145,9625 MHz
- Промежуточная частота: 10.7 MHzat ~ -6 dBm
- Выходная мощность: +27 dBm (0.5 watts)
- Питание: +8 Vdc @ 240 mA (1.92 watts)
- КПД: 26%
- Точность частоты: +/- 1 PPM ( 145 Hz at 145 MHz)
- Стабильность частоты: +/- 2.5 PPM (-30 to +70C)
- Размеры платы: 2.35” (60 cm) X 2.8” (71 cm)

Анализ работы приемо-передающей аппаратуры МКА «Кедр» по телеметрическим данным , полученным за период работы, позволяет сделать следующие выводы:

- модуль потребляет более 2,5 ватт (рис. 1), что свидетельствует о самом высоком потреблении- энергии среди всех модулей МКА;

- температурный режим доходил до 70°С (рис. 2), что свидетельствует о самой высокой температуре внутри МКА.

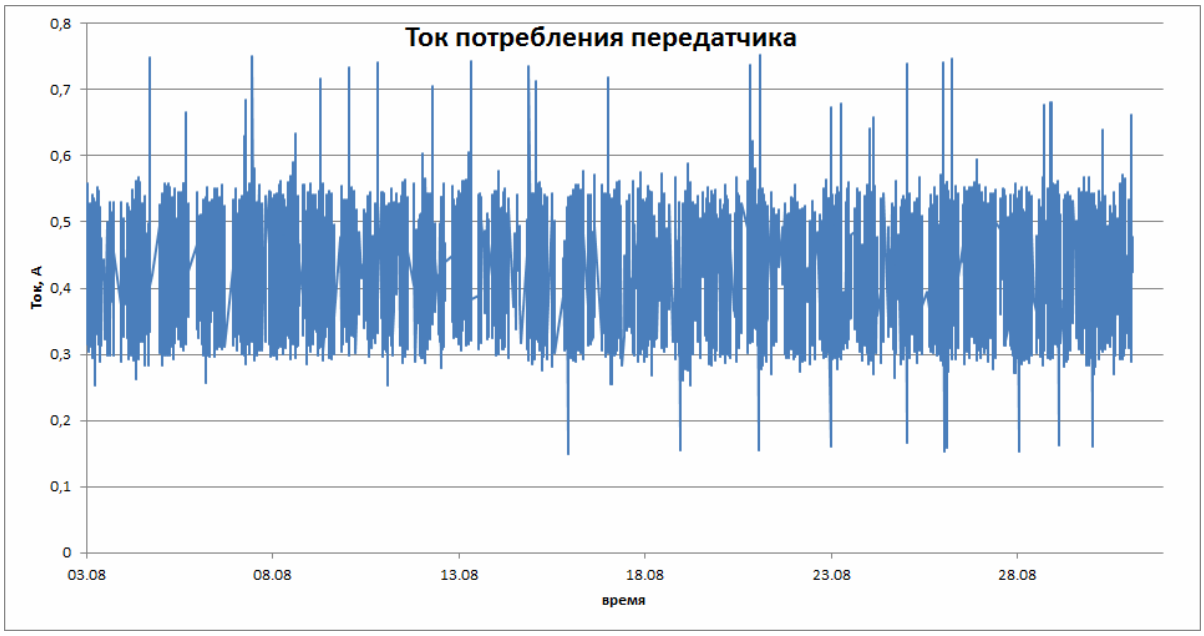



Рис. 1. Ток, потребляемый передатчиком

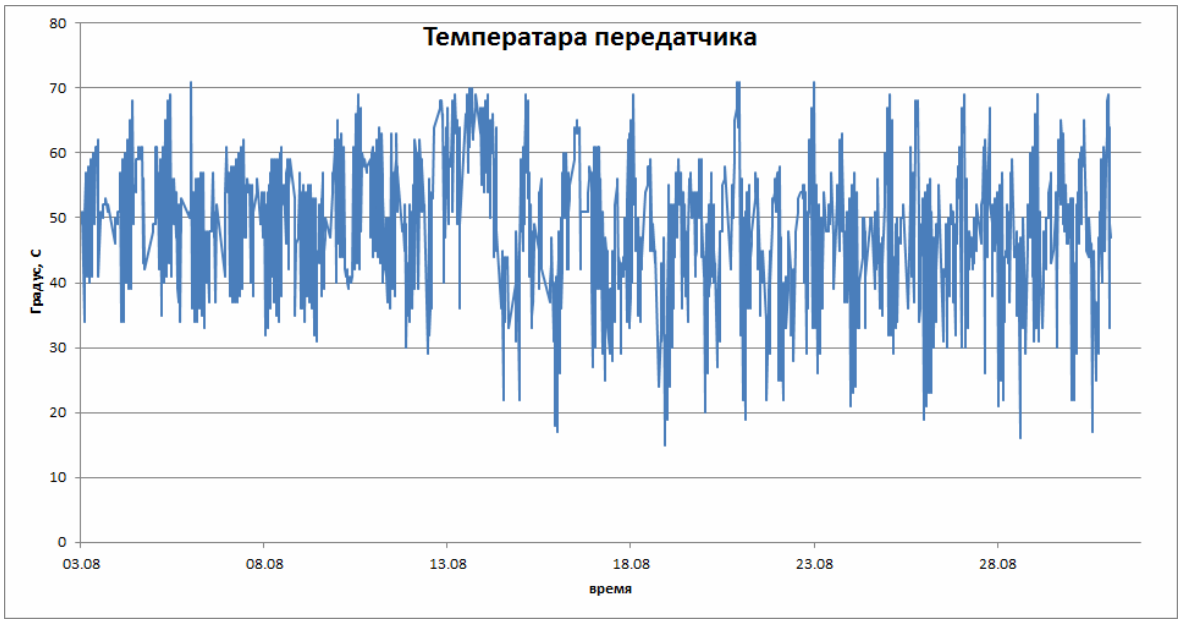



Рис. 2 . Температура передатчика

Таким образом с помощью спутника «Кедр», созданного в рамках космического эксперимента РАДИОСКАФ, была проведена отработка технологии создания приемо-передающей системы малых космических аппаратов и последующая летная отработка аппаратуры в условиях автономного космического полета.

Результаты обработки телеметрических данных приемо-передающей системы малого космического аппарата «Кедр» позволяют говорить об успешном космическом эксперименте. В соответствии с целью эксперимента, были проведены теоретические и практические изыскания, которые позволили:

- систематизировать условия функционирования приемо-передающей системы малых космических аппаратов в околоземном пространстве;

- разработать и изготовить конструкцию и аппаратно-программный комплекс приемо-передающей системы;

- разработать методику и провести летные испытания аппаратно-программного комплекса приемо-передающей системы для малых космических аппаратов.

*Данная работа сделана в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.*

*Получено 20.06.12*

**V.A. Pikkiev,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: rw3ww@mail.ru)

**S.N. Samburov,** Chief Specialist , RSC "Energia" (Korolev) (e-mail: rv3dr@mail.ru)

**R.Y. Bogomazov ,** Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: r3w-158@sporadic.ru)

**A.A. Lutsenko,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: anton@sporadic.ru)

**RECEIVING AND TRANSMITTING SYSTEM OF SMALL SPACECRAFT "KEDR"**

*This article analyzes the work of receiving and transmitting system of small spacecraft "KEDR". This paper provides information on the composition of hardware and software transceiver system and the results of its operations with the composition of small spacecraft "KEDR", who was orbiting the Earth for 6 months.*

***Key words:*** *satellite, space, small spacecraft.*

УДК 378

**Д.Н. Тютюнов,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail:tjutjunov@mail.ru)

**Е.А. Бойцова,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail:elena-boitcova@mail.ru)

**А.В. Бойцов,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail:soul2023@mail.ru)

# ИНТЕГРИРУЕМ ПО ЧАСТЯМ

*В данной статье рассмотрен метод, позволяющий вычислять интегралы, содержащие частное функций под знаком интеграла. Предлагаемый метод основан на интегрировании дифференциального тождества* $d\left(\frac{u}{v}\right)=\frac{vdu-udv}{v^2}$*, в результате чего приходят к более простому интегралу при вычислении функции v. Выведены формулы для вычисления интегралов, содержащих натуральные степени функций в подынтегральных выражениях.*

***Ключевые слова:*** *интеграл , подынтегральное выражение, функция.*

***

Рассмотрим классический метод интегрирования по частям [1,2,3]. Пусть u=u(x) и v=v(x) непрерывно дифференцируемые функции по x, тогда справедливо тождество d(uv)=udv+vdu. Интегрируя обе части указанного тождества, получим:

$$\int udv=uv-\int vdu. \qquad (1)$$

С помощью формулы (1) вычисление интеграла $\int udv$ сводится к отысканию другого интеграла $\int vdu$, который может определяться проще. При этом за u берется такая функция, которая упрощается при дифференцировании, а за dv берется та часть подынтегрального выражения, интеграл от которой является табличным или легко вычисляется. Отметим, что интегрирование по частям может производиться несколько раз подряд, пока не будет получено решение [1,2,3].

Так, например, для интегралов вида $\int P(x)e^{kx}dx$, $\int P(x)\sin kxdx$, $\int P(x)\cos kxdx$, где P(x) − многочлен, за u принимаем P(x), а за dv − соответственно выражение $e^{kx}dx$, $\sin kxdx$, $\cos kxdx$. В интегралах типа $\int P(x)\ln xdx$, $\int P(x)arctgxdx$, $\int P(x)arcctgxdx$, $\int P(x)arcsinxdx$, $\int P(x)arccosxdx$ в качестве u принимаются соответственно функции $\ln x$, arctgx, arcctgx, arcsinx, arccosx, а за dv − выражение P(x)dx.

Метод интегрирования по частям позволяет вычислять целый ряд интегралов, содержащих иррациональные выражения. Кроме того, этот метод позволяет получить рекуррентные формулы для вычисления интегралов, содержащих натуральные степени функций в подынтегральных выражениях.

Рассмотрим теперь другую формулу интегрирования по частям. Если u=u(x) и $v=v(x)\neq 0$ непрерывно дифференцируемые функции по x, то справедлива формула, которая получается после интегрирования тождества $d\left(\frac{u}{v}\right)=\frac{vdu-udv}{v^2}$. В самом деле: $\int d\left(\frac{u}{v}\right)=\int\frac{du}{v}-\int\frac{udv}{v^2}$, тогда будем иметь:

$$\int\frac{udv}{v^2}=\int\frac{du}{v}-\frac{u}{v}. \qquad (2)$$

Полученная формула интегрирования по частям (2) удобна при интегрировании дробных выражений. С её помощью вычисление интеграла $\int\frac{udv}{v^2}$ сводится к отысканию другого интеграла $\int\frac{du}{v}$, который может оказаться проще исходного, либо ему подобен.

В большинстве случаев интегрирование дробных выражений по формуле (2) эквивалентно применению формулы (1).

Рассмотрим решение некоторых примеров, применяя метод интегрирования по частям по формуле (2).

Пример 1. Вычислить интеграл $\int \frac{x\cos x dx}{\sin^3 x}$

Решение:

$$\int \frac{x\cos x dx}{\sin^3 x}=\int \frac{x\sin x\cos x dx}{\sin^4 x}=$$

$$=\left|\begin{array}{l} dv=\sin x\cos x dx=\frac{1}{2}d(\sin^2 x); \\ v=\sin^2 x \\ u=x;\ du=dx; \end{array}\right|=$$

$$=\frac{1}{2}\int \frac{x d\left(\sin^2 x\right)}{\left(\sin^2 x\right)^2}=\frac{1}{2}\left(\int \frac{dx}{\sin^2 x}-\frac{x}{\sin^2 x}\right)=$$

$$=-\frac{1}{2}\cdot ctgx-\frac{1}{2}\cdot\frac{x}{\sin^2 x}+C=$$

$$=-\frac{1}{2}\cdot ctgx-\frac{x}{2}\cdot(1+ctg^2 x)+C=$$

$$=-\frac{x}{2}\cdot ctg^2 x-\frac{1}{2}\cdot ctgx-\frac{x}{2}+C.$$

Пример 2. Вычислить интеграл $\int \frac{\ln^2 x}{x^2}dx$

Решение:

$$\int \frac{\ln^2 x}{x^2}dx=\left|\begin{array}{l} u=\ln^2 x;\ du=\frac{2\ln x dx}{x}; \\ v=x;\ dv=dx \end{array}\right|=$$

$$=2\int \frac{\ln x dx}{x^2}-\frac{\ln^2 x}{x}=\left|\begin{array}{l} u=\ln x;\ du=\frac{dx}{x}; \\ v=x;\ dv=dx \end{array}\right|=$$

$$=2\left(\int \frac{dx}{x^2}-\frac{\ln x}{x}\right)-\frac{\ln^2 x}{x}=$$

$$=2\left(-\frac{1}{x}-\frac{\ln x}{x}\right)-\frac{\ln^2 x}{x}+C=$$

$$=-\frac{(\ln^2 x+\ln x+2)}{x}+C;$$

Замечание: Отметим, что формула (2) не требует дополнительного интегрирования при поиске формулы v, что дает ей преимущество по сравнению с формулой (1).

Выведем формулы для вычисления интегралов, содержащих натуральные степени функций в подынтегральных выражениях.

Пусть $u=u(x)$, $v=v^n(x)$, где $v^n(x)\neq 0,\ n\in N$, непрерывно дифференцируемые функции по x, тогда справедливо тождество:

$$d\left(\frac{u}{v^n}\right)=\frac{v^n du-u\cdot n\cdot v^{n-1}dv}{v^{2n}}=\frac{du}{v^n}-\frac{n\cdot udv}{v^{n+1}}.$$

Преобразуем полученное выражение к виду, удобному для интегрирования: $\frac{n\cdot udv}{v^{n+1}}=\frac{du}{v^n}-d\left(\frac{u}{v^n}\right)$. Проинтегрируем полученное тождество и получим:

$$\int \frac{udv}{v^{n+1}}=\frac{1}{n}\cdot\left(\int \frac{du}{v^n}-\frac{u}{v^n}\right). \qquad (3)$$

Приведем ряд примеров с применением формулы (1). Предварительно отметим, что все вспомогательные обозначения и вычисления будем проводить в вертикальных скобках.

Пример 3. Вычислить интеграл: $\int \frac{\ln x dx}{x^{n+1}}$.

Решение:

$$\int \frac{\ln x dx}{x^{n+1}}=\left|\begin{array}{ll} u=\ln x; & du=\frac{dx}{x} \\ v=x; & dv=dx \end{array}\right|=$$

$$=\frac{1}{n}\left(\int \frac{dx}{x\cdot x^n}-\frac{\ln x}{x^n}\right)=$$

$$=\frac{1}{n}\left(\int x^{-(n+1)}dx-\frac{\ln x}{x^n}\right)=\frac{1}{n}\left(\frac{x^{-n}}{-n}-\frac{\ln x}{x^n}\right)+C=$$

$$=-\frac{1}{n^2\cdot x^n}-\frac{\ln x}{n\cdot x^n}+C=-\frac{1}{n\cdot x^n}\left(\frac{1}{n}+\ln x\right)+C,$$

где C=const.

Применение классической формулы интегрирования по частям требует вы-

числения v за счет дополнительного интегрирования. Действительно:

$$\int\frac{\ln x dx}{x^{n+1}}=\left|\begin{array}{l} u=\ln x;\quad du=\dfrac{dx}{x} \\ dv=\dfrac{dx}{x^{n+1}}=x^{-(n+1)}dx; \\ v=\int x^{-(n+1)}dx=\dfrac{1}{n\cdot x^n}\end{array}\right|=$$

$$=-\frac{\ln x}{n\cdot x^n}+\frac{1}{n}\int\frac{dx}{x^{n+1}}=$$

$$-\frac{\ln x}{nx^n}-\frac{1}{n^2x^n}+C=-\frac{1}{nx^n}\left(\frac{1}{n}+\ln x\right)+C,$$

где C=const.

Пусть теперь $u=u^m(x)$ и $v=v^n(x)$, где $v^n(x)\neq 0$, $\{m,n\}\in N$ непрерывно дифференцируемые функции по x, тогда справедливо тождество:

$$d\left(\frac{u^m}{v^n}\right)=\frac{mu^{m-1}v^n du-nv^{n-1}u^m dv}{v^{2n}}=$$

$$=\frac{mu^{m-1}du}{v^n}-\frac{nu^m dv}{v^{n+1}}.$$

И в этом случае преобразуем полученное выражение к виду, удобному для интегрирования:

$$\frac{nu^m dv}{v^{n+1}}=\frac{mu^{m-1}du}{v^n}=d\left(\frac{u^m}{v^n}\right).$$

Проинтегрируем полученное тождество и получим:

$$\int\frac{u^m dv}{v^{n+1}}=\frac{1}{n}\left(m\int\frac{u^{m-1}du}{v^n}-\frac{u^m}{v^n}\right). \qquad (4)$$

Рассмотрим несколько примеров на применение формулы (4).

Пример 4. Вычислить интеграл: $\int\frac{x^m\cos x dx}{\sin^{n+1}x}$.

Решение:

$$\int\frac{x^m\cos x dx}{\sin^{n+1}x}=\left|\begin{array}{l} u=x;\ du=dx \\ v=\cos x;\ dv=\sin x dx\end{array}\right|=$$

$$\frac{1}{n}\left(-m\int\frac{x^{m-1}dx}{\cos^n x}-\frac{x^m}{\cos^n x}\right)=-\frac{1}{n}\left(\int\frac{x^{m-1}dx}{\cos^n x}-\frac{x^m}{\cos^n x}\right).$$

Полученная рекуррентная формула применима для всех конечных натуральных m и n, причем m<n.

Пример 5. Вычислить интеграл: $\int\frac{x^m dx}{(x^2+a^2)^{n+1}}$.

Решение:

$$\int\frac{x^m dx}{(x^2+a^2)^{n+1}}=\left|\begin{array}{l} u=x;\quad du=dx \\ v=x^2+a^2;\quad dv=2xdx\end{array}\right|=$$

$$=\frac{1}{n}\left(m\int\frac{x^{m-1}dx}{(x^2+a^2)^n}-\frac{x^m}{(x^2+a^2)^m}\right)$$

Полученная формула также является рекуррентным соотношением для любых конечных m и n и произвольной константы $a\in R$.

Пример 6. Вычислить интеграл: $\int\frac{\ln^m x dx}{x^{n+1}}$.

Решение:

$$\int\frac{\ln^m x dx}{x^{n+1}}=\left|\begin{array}{ll} u=\ln x; & du=\dfrac{dx}{x} \\ v=x; & dv=dx\end{array}\right|=$$

$$=\frac{1}{n}\left(m\int\frac{\ln^{m-1}x dx}{x^n}-\frac{\ln^m x}{x^n}\right).$$

Полученная формула также является рекуррентной для всех конечных m и n, где $\{m,n\}\in\{0\}\cup\{N\}$.

**Список литературы**

1. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления: учеб. пособие. Т. 1. М.: Интеграл-Пресс, 2007. 416 с.

2. Данко П.Е., Попов А.Г., Кожевников Т.Я. Высшая математика в упражнениях и задачах: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1. 5-е изд., испр. М. : Высш. шк., 1999. 304 с.

3. Запорожец Г. И. Руководство к решению задач по математическому анализу: учеб. пособие. 6-е изд., стер. СПб.: Лань, 2010. 464 с.

*Получено 14.06.12*

**D.N. Tyutyunov,** Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: tjutjunov@mail.ru)

**E.A. Boytsova,** Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: elena-boitcova@mail.ru)

**A.V. Boytsov,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: soul2023@mail.ru)

**INTEGRATE BY PARTS**

*This article presents a method of calculating integrals containing quotient of functions under the integral. The suggested method is based on integrating of the incremental identical equation* $d\left(\frac{u}{v}\right)=\frac{vdu-udv}{v^2}$, *as a result of which a simpler integral is obtained when calculating the function v. The formulas for calculating integrals containing natural exponents of functions in the integrand have been determined.*

***Key words:*** *integral, integrand, function.*

---

УДК 654.17

**А.В. Белов,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: kvrkstu2010@rambler.ru)

**Т.М. Белова,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: 138019451952@nm..ru)

**СПОСОБЫ ХРАНЕНИЯ РАСТРОВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ КВАДРОДЕРЕВЬЕВ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

*Рассматриваются существующие и предлагаемые новые схемы кодирования квадродеревьев для представления фрагментов изображения при их хранении.*

***Ключевые слова****: хранение фрагментов изображения, квадродерево.*

***

При использовании растровых данных в системах поддержки принятия решений проблемной задачей по затратам памяти является хранение фрагментов изображения произвольной формы. Одним из методов решения данной задачи является использование квадродеревьев (*quadtree*) (*QT*) [1]. На рис. 1а в сетке пикселей для изображения размером $2^n * 2^n$, $n = 2$, представлены три его фрагмента, рассматриваемые как один объект. Для примера количество цветов равно восьми, тогда количество бит для представления цвета $m = 3$. Соответствующее объекту квадродерево представлено на рис. 1б. Листья дерева с используемыми пикселями представлены черными квадратиками, отмеченными соответствующим цветом. Уровни дерева представлены горизонтальными линиями с номером уровня $i = 0,1,\ldots,n$. Листья, расположенные на уровне $i = 0$, называются терминальными, а листья на уровнях $i > 0$ - внутренними. Адресация пикселей как в изображении, так и в QT, возможна с использованием квадрокодов (Quadcode) (QC) [2]. На рис. 1а QC записаны в нижней части квадратов пикселей растровой сетки. На рис. 1б при помощи QC отмечены дуги квадродерева. Квадрантом называется квадратный фрагмент изображения размером $4^i, i = 0,1,\ldots,n$, у которого адрес левого верхнего угла QC удовлетворяет условию $i = \max_i(QC \bmod 4^i = 0)$. Если все пиксели квадранта имеют одинаковое содержание, например код цвета, то квадрант называется гомогенным.

При кодировании *QT* записывается в виде битовой последовательности. В начале последовательности записывается максимальный номер уровня *n*. Это значение требуется для реализации процедуры декодирования.

Варианты кодирования *QT* при его обходе в ширину дают лучшие результа-

ты по затратам памяти, чем варианты обхода в глубину [3].

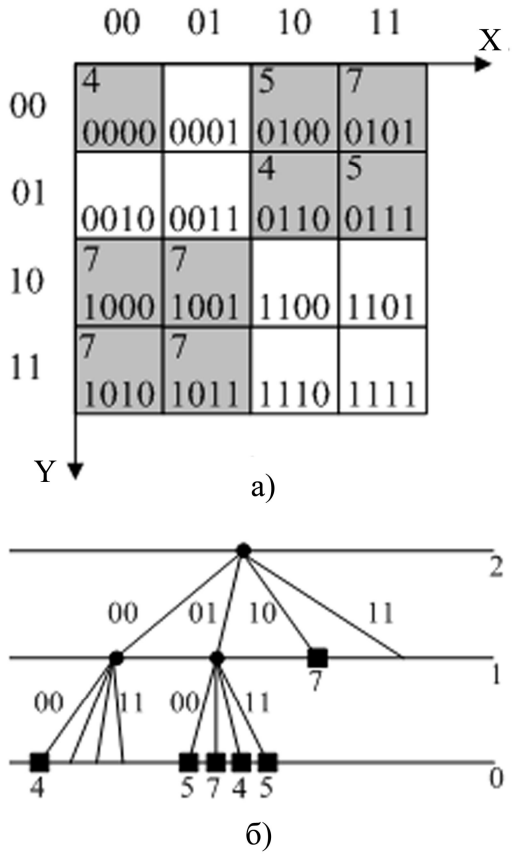



Рис. 1. Структура линейных квадродеревьев

Одна из кодировок при обходе дерева в ширину называется фиксированной бинарной кодировкой квадродерева *(fixed binary linear quadtree coding schema) (FBLQ)*. Кодировка *FBLQ* получается при обходе *QT* в ширину уровень за уровнем, начиная с уровня *n*. При этом внутренняя вершина кодируется единицей, а лист кодируется нулем. Получившийся при этом код разветвления из четырех вершин называется позиционным кодом *(position code)*. После позиционного кода последовательно записывается код цвета, соответствующий каждому листу разветвления. Разветвление без листьев кодов цвета не имеет. Для листьев нулевого уровня позиционный код отсутствует, так как нет внутренних вершин, и записываются только коды цвета для каждого листа. Разветвление уровня *n* состоит из одной вершины.

Использование такой кодировки для представления фрагментов изображения требует еще одного значения для кодировки цвета, а именно – “отсутствие цвета”. Поэтому в рассматриваемом примере вместо трех бит на код цвета потребуется четыре бита. При этом значение “отсутствие цвета” кодируется как 1000. С учетом этого *QT* в кодировке *FBLQ* выглядит как последовательность: *0010 1 1100 0111 1000 0100 1000 1000 1000 0101 0111 0100 0101*.

Фрагменты последовательности, содержащие коды вершин квадродерева, называются адресной частью, оставшиеся фрагменты называются содержательной частью. Для рассматриваемого примера адресная часть кодировки *FBLQ* содержит 25 бит, содержательная часть содержит 24 бита, общее количество составляет 49 бит. Значение *n*, передаваемое в начале последовательности, используется для определения вершин нулевого уровня. Значение *m*, определяющее количество бит на код цвета считается известным заранее.

Цветные изображения, полученные в результате фотографирования, содержат очень мало гомогенных квадрантов. Данные факты позволяют исследовать представление фрагментов изображения в виде *QT*, у которого все листья для используемых пикселей терминальные. Так для фрагментов изображения на рис. 1а таким деревом будет *QT,* представленное на рис. 2.

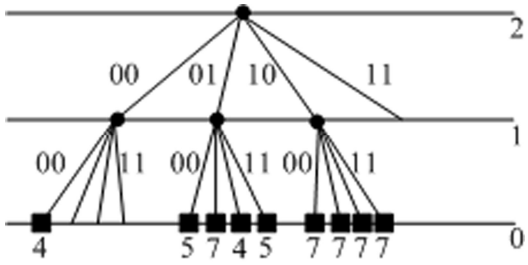



Рис. 2. Квадродерево для кодировки *BCQT*

При таком подходе возникает возможность предложить новую кодировку для *QT*, названную бинарной кодировкой *(binary coding quadtree ) (BCQT)*, согласно которой внутренние вершины и терминальные листья для используемых пикселей кодируются одним битом со

значением единица, а листья с неиспользуемыми пикселями на любом уровне кодируются одним битом со значением ноль. Содержательная часть *BCQT* представляет последовательность кодов цвета используемых пикселей в порядке их расположения на нулевом уровне. *QT* для фрагментов изображения на рис. 1а в кодировке *BCQT* представляет две последовательности: адресную – *0010 1 1110 1000 1111 1111*, и содержательную – *100 101 111 100 101 111 111 111 111*. Адресная часть содержит 21 бит, содержательная часть содержит 27 бит, общее количество составляет 48 бит. Для изображений, в которых отсутствуют цветные гомогенные квадранты, кодировка *BCQT* лучше *FBLQ,* так как на кодирование любой вершины квадродерева в *BCQT* бит тратится меньше.

В [4] было предложено для снижения затрат памяти рассматривать и кодировать отдельно адресную и содержательную части фрагментов изображения, которые представлялись структурами линейных квадродеревьев, получаемых при обходе дерева в глубину. Используя данный подход при получении структуры квадродерева при его обходе в ширину, предлагается кодировка, названная смешанной кодировкой квадродерева *(mixed coding quadtree ) (MCQT)*.

Адресная часть при таком подходе представляет квадродерево, представленное на рис. 3.

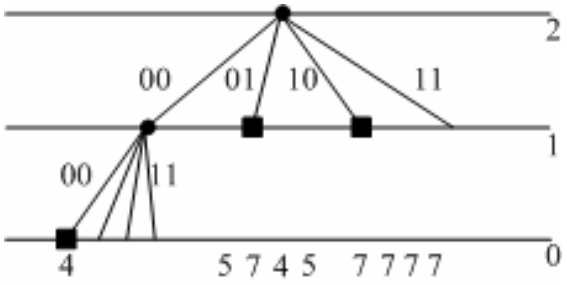



Рис. 3. Квадродерево для кодировки *MCQT*

Гомогенным квадрантом в таком дереве является квадрант, содержащий используемые пиксели. Цвет пикселя при этом не учитывается. Вершины кодируются следующим образом. На уровне, для которого $i > 0$, внутренняя вершина кодируется как 1; внутренний лист, содержащий квадрант используемых пикселей кодируется как 01; внутренний лист, содержащий квадрант неиспользуемых пикселей кодируется как 00. На уровне, для которого $i = 0$, терминальный лист, содержащий используемый пиксель кодируется как 1; терминальный лист, содержащий неиспользуемый пиксель кодируется как 0.

Содержательная часть *MCQT* представляет последовательность кодов цвета пикселей листьев при их обходе слева направо. В листе, представляющем квадрант, коды цвета пикселей записываются в порядке обхода квадранта при его адресации квадрокодами в возрастающем порядке. Кодировка *MCQT* представляет две последовательности: адресную – *0010 1 1010100 1000*, и содержательную – *100 101 111 100 101 111 111 111 111*. Адресная часть содержит 16 бит, содержательная 27 бит, общее количество 43 бита.

Пусть коэффициенты $K_H, K_L$ определяют отношение количества бит, затраченных на представление квадродерева в кодировке *BCQT*, к количеству бит, затраченных на представление квадродерева в кодировке *MCQT*, соответственно для наилучшего и наихудшего вариантов квадродеревьев для рассматриваемых кодировок. А коэффициент

$$K_A = \frac{K_H + K_L}{2}.$$

Поведения данных коэффициентов в зависимости от количества пикселей, составляющих фрагмент изображения, приведены на графиках рис. 4, при этом рис. 4а показывает начало графика, а рис. 4б показывает его продолжение.

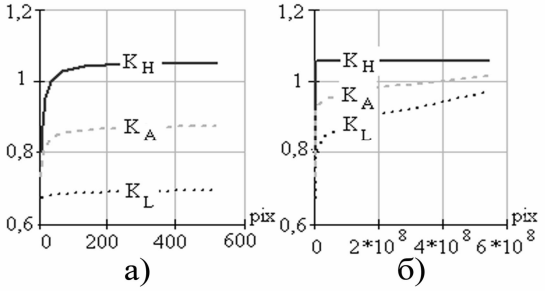



Рис. 4. Кодировка *MCQT* в сравнении с *BCQT*

**Список литературы**

1. H. Samet, The Design and Analysis of Spatial Data Structures. Addison-Wesley, Reading, MA, 1990. P. 493.

2. Li S.X., Loew M.H. The Quadcode and Its Arithmetic // Communications of ACM, 1987, Vol. 30, No. 7. P. 621-626.

3. Chen P.-M. Variant code transformations for linear quadtrees // Pattern Recognition Letters. 2002, No. 23(11). P. 1253-1262.

4. Атакищев А.О., Белов А.В., Николаев А.В. Использование квадродеревьев в динамических электронных фотокартах // Известия Юго-Зап. гос. ун-та. 2011. № 6 (39). Ч.2. С. 36-40.

*Получено 10.07.12*

**A.V. Belov,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kvrkstu2010@rambler.ru)

**T.M. Belov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)
(e-mail: 138019451952@nm.ru)

**APPROACHES STORAGE OF THE RASTER DATA ON A BASIS OF QUADTREES IN DECISION SUPPORT SYSTEM**

*Existing and offered new schemes of coding quadtrees for representation of fragments of the image by their storage are resulted.*

***Key words:*** *storage of fragments of the image, quadtree.*

---

УДК 004.45

**В.С. Еськов,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: vitaliy86@inbox.ru)

**В.П. Добрица,** д-р физ.-мат. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: dobritsa@mail.ru)

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ АКТИВНЫХ ВНУТРЕННИХ РЕСУРСОВ ПЛИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВОЛНОВОГО АЛГОРИТМА**

*В статье рассмотрена проблема поиска межсоединений активных внутренних ресурсов ПЛИС и методика их восстановления с применением модифицированного волнового алгоритма Ли. Использование алгоритмов и методов обратной разработки позволяет понять принцип работы ПЛИС серии Vertex, оценить работу конечного устройства, соответствие его заявленным техническим требованиям.*

***Ключевые слова****: ПЛИС, обратная разработка, алгоритм Ли.*

***

В процессе восстановления функциональных схем и алгоритмов работы программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) решаются две задачи: определение активных программируемых ресурсов и соединений между ними. При этом требуется выбрать оптимальные способы, позволяющие автоматизировать обе эти задачи.

В данной работе осуществляется выбор оптимального способа восстановления межсоединения активных внутренних ресурсов ПЛИС.

Будем полагать, что межсоединения внутренних активных ресурсов в ПЛИС *VIRTEX* определяются множеством контактов С (активных переключающихся ресурсов), зафиксированных в топологическом пространстве ПЛИС. При этом контакт является выходом связи, или входом связи, или промежуточным контактом связи [1]. Тогда межсоединения можно представить в виде тройки элементов $M(X, Y, L_i)$, где

$X = \{x_0, x_1, ..., x_n\}$ – множество, соответствующее входным контактам цепей (источника);

$Y = \{y_0, y_1, \ldots, y_n\}$ – множество, соответствующее выходам и промежуточным контактам цепей, $Y \not\subset X$, $y_n \not\subset y_p$ для любых $n \neq p$;

$L_i = \{(x_i, y_i), (y_1, y_k)\}$ – множество пар контактов цепи, определяющее одну связь в межсоединении.

Задача восстановления межсоединений заключается в определении для каждого контакта из множеств X, Y соседнего контакта и последующем соединении их между собой.

На основе проведенных исследований, стало ясно, что процедура такого построения должна быть родственна алгоритмам трассировки соединений между контактами микросхем на поверхности печатных плат. Согласно классификации, представленной в [1, 2], основными алгоритмами трассировки являются: волновой, лучевой и эвристический алгоритм. В большинстве известных методов трассировки вся рабочая плоскость разбивается на квадраты, размер которых равен допустимому расстоянию между проводниками (считается, что проводники могут проходить только перпендикулярно сторонам квадрата). Трассой между точками $x_i$ и $y_i$ называется совокупность соседних квадратов (квадратов, имеющих общую сторону), соединяющих данные точки [1].

Идея лучевого алгоритма [3] заключается в исследовании не всех квадратов, а только части из них по некоторым заданным направлениям - лучам. Этот алгоритм при минимизации времени позволяет провести до 80% трасс. Остальные неразведенные трассы проводят с помощью волнового алгоритма.

Эвристические алгоритмы трассировки соединений не рассматривают все возможные трассы для выбора оптимальной, а сразу стремятся проложить трассу по кратчайшему пути. Если на пути встречается препятствие, то в силу вступает правило путей обхода, где задается приоритетный порядок обхода [1,3].

Волновой алгоритм (*алгоритм Ли*) отличается простотой организации построения трассы и осуществляет ее целенаправленный поиск, поэтому является самым распространенным. В волновом алгоритме можно выделить два этапа:

1) распространение числовой волны;

2) проведение трассы.

На первом этапе все множество квадратов коммутационного поля разделяют на две группы: подмножество свободных и подмножество занятых квадратов. Трассы могут проходить только по свободным квадратам, причем после проведения трассы все ее квадраты считаются занятыми. Необходимо оптимальным образом соединить контакты $x_i$ и $y_i$.

Построение числовой волны начинается с выбора в качестве начальной точки произвольного контакта, например $x_i$. В процессе формирования числового фронта волны всем свободным квадратам, соседним с квадратами предыдущего фронта, ставится в соответствие масса квадрата, равная расстоянию от начального квадрата, соответствующего контакту $x_i$, до данного квадрата в ортогональной метрике. Совокупность квадратов одинаковой массы называется фронтом волны. Для получения очередного фронта на каждом шаге распространения волны всем свободным квадратам, соседним с квадратами предыдущего фронта, присваивается масса, на единицу большая. Волна распространяется до тех пор, пока не достигнет контакта $y_i$ [1].

На втором этапе волнового алгоритма проводится собственно трасса. Для этого просматриваются все отмеченные квадраты в обратном порядке от $y_i$. Сначала просматриваются квадраты, соседние с $y_i$, и выбирается тот, у которого масса минимальна, затем выбираются квадраты, соседние с выбранным и имеющие минимальную массу и до тех пор., пока не будет достигнут квадрат $x_i$. Волновой алгоритм характеризуется универсальностью и всегда находит трассу, если она существует [2].

Все вышеизложенные алгоритмы подходят для задач, в которых известны начальный и конечный узлы трассы. В случае восстановления межсоединений внутренних активных ресурсов ПЛИС задача усложняется и состоит в нахождение пути из одного известного узла (источника) к заранее неопределенным конечным узлам. Легко видеть, что единственным алгоритмом, позволяющим восстановить трассу при данном ограничении, является волновой алгоритм Ли, так как волна в любом случае распространится к конечному узлу.

Однако в классическом виде алгоритм Ли нельзя использовать для восстановления межсоединений внутренних активных ресурсов ПЛИС. Это связано с невозможностью использования равномерного распространения числовой волны из-за особенностей топологического пространства ПЛИС. Осуществим модернизацию волнового алгоритма для исключения вышеуказанного ограничения. В качестве модели топологического пространства ПЛИС используем неориентированную графовую решетку с единичным шагом в соответствии с рисунком. В ней вершинами являются все возможные переключающие ресурсы ПЛИС. Вершины получают четыре фиксированных весовых числа, каждое из которых определяет степень конфликта вершины с соседними. Степень конфликта определяется максимальным расстоянием до вершины, с которой данная вершина может быть соединена ребром. После этого на графовую решетку накладываются множества контактов X, Y для конкретной ПЛИС, при этом вершины графовой решетки, не вошедшие в множества X, Y, исключаются из дальнейшего рассмотрения.

Далее из множества X выбирается одна вершина. Для этой вершины формируется фронт волны. В отличие от классического алгоритма Ли, где фронт распространяется равномерно во всех направлениях на фиксированную величину, установим распространение числового фронта в каком-либо направлении графической решетки на величину, равную степени конфликта для данного направления. Все вершины из множества Y, вошедшие во фронт, соединяются с данной вершиной ребром. Для каждой вновь включенной в граф вершины формируется свой фронт волны, и вновь определяются все конфликтные вершины. Эта операция применяется до тех пор, пока не останется конфликтных вершин. Полученное беспетлевое неориентированное дерево-граф полностью определяет одну электрическую связь.

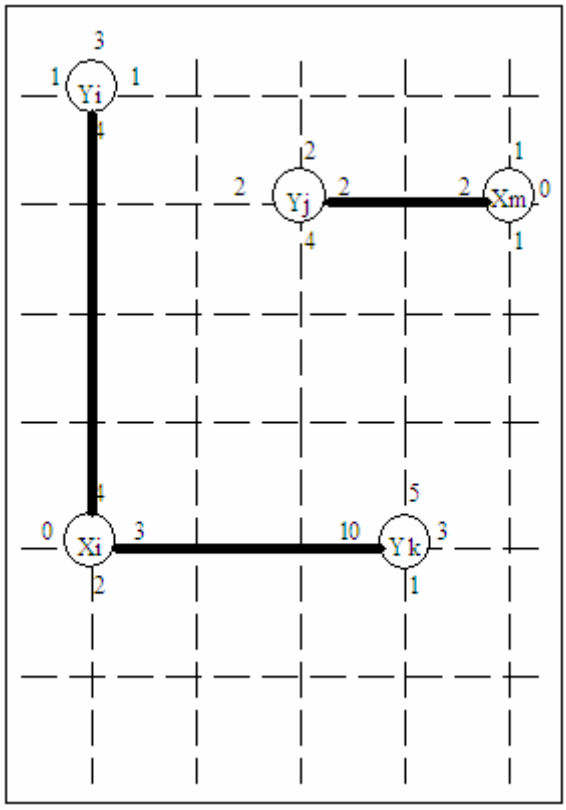



Рис. Графовая решетка топологического пространства

При этом предлагаемая процедура восстановления межсоединений содержит следующие операции [4]:

1) извлечение из множества входных контактов цепей $X = \{x_0, x_1, ..., x_n\}$ одного контакта $x_i$, $(i = 1, ..., n)$;

2) определение для данного контакта $x_i$ множества $D = \{d_1, d_2, d_3, d_4\}$ весовых

чисел, определяющих степень конфликта по направлениям топологического пространства ПЛИС;

3) распространение числовой волны и захват ею входных и промежуточных контактов из множества $Y = \{y_0, y_1, ..., y_m\}$ согласно степени конфликта $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4\}$ для данного направления;

4) определение для каждого из вновь включенных в связь контактов $y_i$ множества $D^{/} = \{d_1^{/}, d_2^{/}, d_3^{/}, d_4^{/}\}$ весовых чисел;

5) повторение пунктов 3-4 до тех пор, пока все конфликтные вершины не будут включены в связь;

6) запись восстановленной связи $L_i = \{(x_i, y_i), (y_1, y_k)\}$ при отсутствии конфликтных вершин;

7) исключение контактов связи из множеств X, Y;

8) повторение пунктов 1-7 данной процедуры до тех пор, пока не будут просмотрены все входные контакты $X = \{x_0, x_1, ..., x_n\}$.

Таким образом, применяя модифицированный волновой алгоритм Ли для каждой вершины из множества X, получим все связи ПЛИС – межсоединения активных внутренних ресурсов. Как видно из вышеизложенного, предложенный модифицированный алгоритм Ли хорошо формализуется и подходит для применения в процедуре восстановления межсоединений внутренних активных ресурсов ПЛИС.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2013 гг.», гос. контракт № 07.514.11.4135.*

**Список литературы**

1. Норенков И.П., Маничев В.Б. Системы автоматизированного проектирования электронной и вычислительной аппаратуры: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1983. 272 с.

2. Резевиг В.Д., Блохнин С.М. Система P-CAD8.5. Руководство пользователя. М.: ООО «Илекса», 1996. 288с.

3. Петренко А.И., Тетельбаум А.Я. Формальное конструирование электронновычислительной аппаратуры. М.: Советское Радио, 1979. 256 с.

4. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2010614289. «Программа автоматизированного восстановления внутренних схем ПЛИС серии CoolRunner фирмы XILINX по их загрузочной последовательности (CoolR) / В.С. Еськов [и др.].

*Получено 09.07.12*

**V.S. Eskov,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: vitaliy86@inbox.ru)

**V.P.Dobritsa,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: dobritsa@mail.ru)

**THE DECISION OF A PROBLEM OF RESTORATION OF INTERCONNECTIONS OF ACTIVE INTERNAL RESOURCES FPGA WITH USE OF THE MODIFIED WAVE ALGORITHM**

*Use of algorithms and methods of return working out allows to understand a principle of work FPGA of series Vertex, to estimate work of the final device conformity to its declared technical requirements.*

***Key words**: PLD, reverse engineering, Lee algorithm.*

УДК 004.45

**В.С. Еськов,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: vitaliy86@inbox.ru)

**А.Т.Миргалеев,** канд. техн. наук, доцент кафедры**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: aleksmirg@mail.ru)

**В.П. Добрица,** д-р физ.-мат. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: dobritsa@mail.ru)

# СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛИС

*Выбор оптимального метода восстановления внутренней схемы ПЛИС является одним из ключевых аспектов для автоматизации данного процесса.*

***Ключевые слова**: ПЛИС, обратная разработка.*

***

Для выявления недекларированных возможностей, заложенных разработчиком в средства вычислительной техники, применяют реинжиниринг внутренних схем, размещенных в элементной базе устройства. Наиболее распространенными элементами электронной базы в современных условиях являются ПЛИС.

При этом актуальной задачей реинжиниринга внутренней структуры ПЛИС становится переход от физической реализации схемы на основе ПЛИС к ее логическому описанию каким-либо способом: графическим, на одном из описательных языков, временная диаграмма и т.п. Однако без автоматизации данной задачи, реинжиниринг электрической схемы занимает неприемлемо большие сроки и, в конечном результате, восстановленная схема просто становится неактуальной.

**В данной работе предлагается** анализ известных методов реинжиниринга внутренней структуры ПЛИС, которые позволяют сократить время восстановления электрических схем, реализованных в ПЛИС, по полученным данным в рамках данного метода с использованием автоматизированных средств. Чем больше автоматизирован и распараллелен данный процесс, тем быстрее будут решаться задачи реинжиниринга и последующего анализа восстановленных схем на наличие в них недекларированных возможностей [1-3].

В процессе реинжиниринга внутренней структуры ПЛИС решаются следующие общие задачи:

– восстановление функциональных и электрических принципиальных схем отдельных узлов;

– определение связей между узлами;

– идентификация и построение функциональных блоков и областей;

– определение алгоритмов функционирования исследуемой ПЛИС.

В соответствии с рисунком 1, методы решения данных задач условно можно разделить на две группы:

1) *разрушающие (инвазивные)* – при исследовании проводится последовательное контролируемое уничтожение определенной части кристалла ИМС с целью получения информации о нижних слоях металлизации и подложке. Возможность работоспособности исследуемого образца при этом исключается;

2) *неразрушающие (неинвазивные)* – включают в себя анализ внешнего окружения, цепей питания, контроль битовых потоков, генерацию нестандартных режимов работы и т. д. Применение некоторых из данных методов требует наличия работоспособного образца объекта исследования: самой ПЛИС или битового потока.

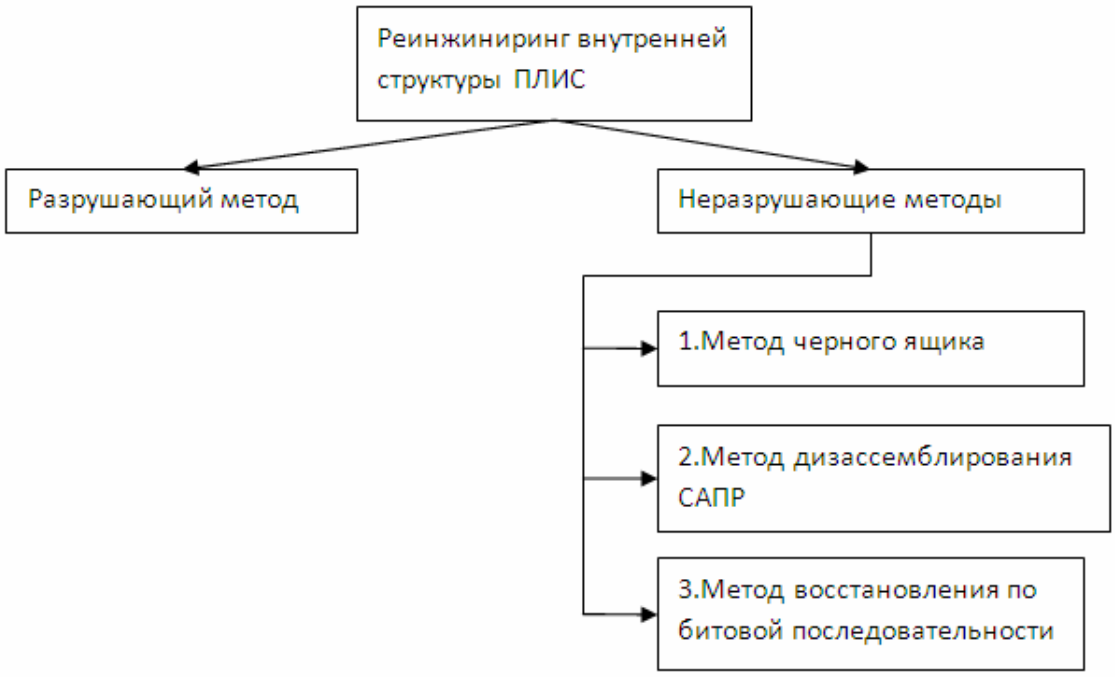



Рис. 1. Блок-схема методов восстановления внутренней структуры ПЛИС

Определим перспективность применения разрушающих методов (как дополнительных к неразрушающим методам) при реинжиниринге внутренней структуры *FPGA* ПЛИС по загрузочной битовой последовательности.

Процесс исследования кристалла с применением разрушающих методов (рис. 2), в общем случае состоит из следующих этапов [1].

*Подготовительный этап* – вскрытие корпуса ПЛИС с целью осуществления непосредственного доступа к кристаллу, осуществление операций поэтапного удаления слоёв металлизации, регистрация изображений поверхности кристалла.

*Идентификационно-топологический этап* – создание библиотек топологических элементов, использованных при изготовлении кристалла и идентификация всех элементов установленных на кристалле.

*Трассировочный этап* – прокладка связей между всеми элементами ПЛИС.

*Идентификационно-логический этап* – построение библиотек логических элементов, использованных при проектировании кристалла (переход от физической реализации к логической модели).

*Структурный этап* – построение и идентификация схем (логических, функциональных и структурных) крупных функциональных блоков, определяющих функционирование исследуемой ПЛИС.

Данный подход, основанный на применении разрушающего метода для определения полной электрической и функциональной схемы кристалла, характеризуется высокой трудоемкостью и большими материальными затратами (микроскопы высокого увеличения, растворителей, средств травления слоев и т.п.). Даже для самых первых *FPGA* серий ПЛИС компании *Xilinx* производства 80-х годов данный метод малопригоден. В то же время, реализуемая в *FPGA* ПЛИС функциональная схема полностью определятся конфигурационными данными и значениями, хранящимися в конфигурационной памяти. В результате реинжиниринга электрической схемы, реализованной на кристалле, можно точно установить соответствие разрядов конфигурационной памяти конфигурируемым ресурсам ПЛИС. Следовательно, зная со-

держимое конфигурационной памяти можно восстановить реализованные в ПЛИС электрические и функциональные схемы без дополнительного применения разрушающих методов. Для современных *FPGA* ПЛИС применение инвазивного метода нецелесообразно.

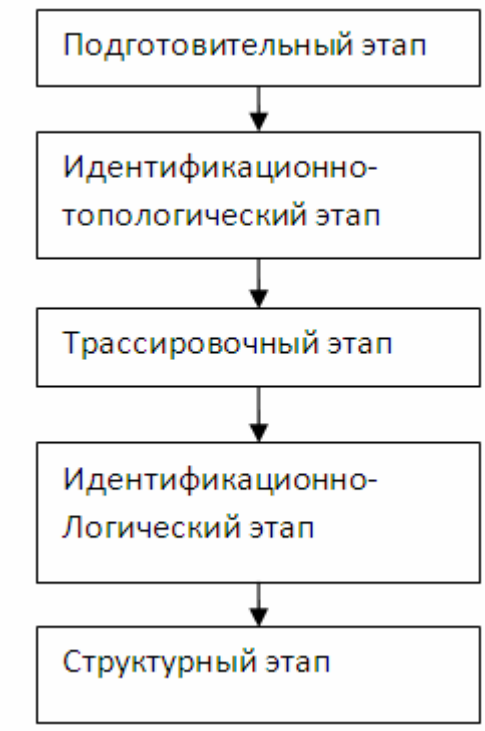



Рис. 2. Процесс исследования кристалла с использованием разрушающего метода

Поскольку ПЛИС (в случае повреждения кристалла) являются неремонтопригодным объектом, то предпочтительнее использовать неразрушающие методы, если существуют возможность их применения.

Можно выделить три основных метода неразрушающего реинжиниринга внутренней структуры ПЛИС:

*Метод черного ящика* - исследование реакций выходов ПЛИС на различные наборы входных данных;

*Метод дизассемблирования САПР* - восстановление внутренней структуры ПЛИС путем дизассемблирования САПР проектирования ПЛИС с последующим выделением механизмов создания загрузочных битовых последовательностей;

*Метод восстановления по битовой последовательности* - восстановление внутренней структуры по известной загрузочной битовой последовательности ПЛИС.

*Метод черного ящика* - подразумевает представление ПЛИС в виде черного ящика и исследование реакций выходов ПЛИС на различные наборы входных данных. Этот метод может быть эффективен только для ПЛИС, реализующих простую булеву функцию от нескольких переменных без триггерных элементов. Недостаток метода заключается в необходимости иметь в наличии несколько ПЛИС и средства загрузки в них битового потока (программаторы, переходные кабели и т.п.). При современном развитии ПЛИС со сложнейшей внутренней структурой и количеством логических блоков порядка 10 млн. этот метод абсолютно бесперспективен.

*Метод дизассемблирования САПР* - восстановления внутренней структуры путем дизассемблирования САПР проектирования ПЛИС, создающего загрузочные битовые последовательности, позволяет выделить механизм формирования битовой загрузочной последовательности для различных активных ресурсов различных типов ПЛИС. Недостатком метода являются большие временные затраты на дизассемблирование (преодоление защиты САПР от дизассемблирования, отслеживание сложнейших связей между компонентами САПР и т.п.), плохое распараллеливание процесса дизассемблирования, необходимость приобретения САПР программирования ПЛИС и различных дизассемблеров. Достоинством метода является возможность дизассемблирования механизма формирования битовой загрузочной последовательности одновременно для широкого спектра ПЛИС без приобретения самих микросхем, которые могут стоить несколько сотен и более долларов.

*Метод восстановления по битовой последовательности* - восстановление внутренней структуры по известному за-

грузочному битовому потоку ПЛИС также подразумевает использование САПР проектирования ПЛИС с целью целенаправленного воздействия на определенные внутренние ресурсы конкретных микросхем и определение отображения данных ресурсов на битовую загрузочную последовательность.

Недостатком метода является большая сложность и трудоемкость (необходимость исследования большого числа битовых загрузочных последовательностей), а также необходимость приобретения САПР проектирования ПЛИС. Достоинство метода заключается в исследовании ПЛИС без приобретения самих микросхем, хорошее распараллеливание процесса, возможность минимизации областей исследования и, как следствие этого, получение результатов за относительно короткие сроки, по сравнению со вторым способом. При постоянном увеличении логической емкости ПЛИС трудоемкость данного способа возрастает настолько, что применение данного способа становится неэффективным.

При восстановлении внутренней структуры любого типа ПЛИС по загрузочной битовой последовательности данным методом в общем случае всегда решаются три задачи:

– создание модели внутренней архитектуры ПЛИС;

– создание модели битовой загрузочной последовательности - нахождение отображения активных ресурсов внутренней архитектуры ПЛИС на битовую загрузочную последовательность (наиболее трудоемкая часть для создания ПО восстановления);

– восстановление внутренней структуры ПЛИС (т.е. восстановление схемы конкретной реализации под данную ПЛИС) с использованием отображений активных ресурсов архитектуры на битовую последовательность.

На основе предложенных методов могут решаться некоторые подзадачи, специфичные для данного типа ПЛИС.

Построенная модель внутренней архитектуры ПЛИС необходима для создания модели битового потока. Одним из направлений совершенствования метода целенаправленного воздействия является построение универсальной настраиваемой модели битового потока. При решении этой задачи сократится время нахождения отображения активных ресурсов внутренней архитектуры ПЛИС на битовый поток. Соответственно модель битового потока должна быть программной.

Основные требования к модели битового потока:

– возможность задания длины битового потока;

– возможность задания различных типов ресурсов внутренней архитектуры;

– возможность независимого обращения к каждому из ресурсов;

– возможность сравнения между собой различных однотипных ресурсов и выдачи результатов сравнения;

– запоминание настроек для каждой новой модели в отдельности.

Неуклонный рост логической емкости ПЛИС и усложнение их внутренней архитектуры делает актуальным применение второго метода восстановления внутренней структуры путем дизассемблирования САПР проектирования ПЛИС. Однако второй метод предпочтительно использовать в сочетании с третьим, так как по многим позициям третий метод дает правильный результат в более короткие сроки [4].

Таким образом, развитие второго и третьего из описанных методов неразрушающего восстановления внутренней структуры ПЛИС является актуальным и перспективным.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2013 гг.», государственный контракт № 07.514.11.4135.*

**Список литературы**

1. Соловьев В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем. М.: Горячая линия – Телеком, 2001.

2. Современные реализации ПЛИС// Компьютеры/ http://parallel.ru

3. Майская В. Программируемые логические микросхемы, 2005. URL: http://www.radioradar.net/

4. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2010614289. «Программа автоматизированного восстановления внутренних схем ПЛИС серии CoolRunner фирмы XILINX по их загрузочной последовательности (CoolR)» / В.С. Еськов [и др.].

*Получено 20.07.12*

**V.S. Eskov,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: vitaliy86@inbox.ru)

**A.T.Mirgaleev,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: aleksmirg@mail.ru)

**V.P.Dobritsa,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: dobritsa@mail.ru)

**COMPARISON OF METHODS OF THE ENGINEERING ANALYSIS OF PROGRAMMED ELEMENTS FPGA**

*The choice of an optimum method of restoration of the internal scheme FPGA is one of key aspects for automation of the given process.*

***Key words**: PLD, reverse engineering.*

---

УДК 861.3

**Л.А.Лисицин,** канд. техн. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: leo_263@mail.ru)

**Ю.А. Халин,** преподаватель**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: yur-khalin@yandex.ru )

**А.Л. Лисицин,** аспирант**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: dreadnout_13@mail.ru )

**СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

*В настоящее время для принятия эффективных управленческих решений недостаточно интуиции и опыта руководителей, необходимо привлечение математических моделей и методов, а также внедрение информационных технологий. В работе предлагается подход к разработке системы поддержки принятия решений в условиях неполной информации.*

***Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, ситуация, теория вероятностей и математическая статистика, теория Демпстера-Шефера, нечёткая логика, теория возможностей, коэффициент уверенности.*

***

При функционировании любой социально-экономической системы её материальные и финансовые ресурсы всегда ограничены, поэтому ключевым фактором успеха экономической деятельности является принятие правильного и своевременного решения о том, где и как следует их сосредоточить для достижения максимального эффекта. Современные предприятия требуют все большей оперативности в принятии управленческих решений. В период быстрых изменений на рынке, более короткого цикла обращения продукции и услуг, изменчивости потребительского спроса важны полнота и актуальность информационной базы для принятия стратегических решений, а также контроля за их выполнением. В этой связи использование современных методов сбора, обработки, хранения, ана-

лиза и представления информации для управленческих решений является одним из важнейших рычагов развития бизнеса.

Система поддержки принятия решении (СППР) является человеко-машинными системами, которые позволяют лицам, принимающим решения (ЛПР), использовать данные, знания, объектив-ные и субъективные методики для анализа и решения слабоструктурированных и неструктурированных проблем.

Процесс разработки управленческих решений состоит из этапов (сбор информации, формулирование цели, анализ проблемной ситуации [3]). Одним из самых трудных этапов подготовки и принятия решений является правильное понимание возникшей проблемной ситуации. Поэтому при разработке СППР целесообразно применение ситуационного подхода.

В общем случае под сложившейся обстановкой понимается состояние объекта управления и состояние внешней среды в определенный момент времени – $Q = \langle O, F, t_i \rangle$, где $F = \langle f_1, f_2, ..., f_i \rangle$ - состояние внешней среды в *i*-ый момент времени.

На практике часто используют определенное упрощение задачи и состояние объекта управления *O* условно считают детерминированным, полностью известным и полностью подконтрольным. Важнейшей составляющей ситуации является состояние внешней (естественно по отношению к объекту управления) среды. При этом внешняя среда понимается как множество объектов, находящихся в определенных отношениях (либо благоприятных, либо нейтральных, либо антагонистических) с объектом управления.

Таким образом, под ситуацией будем понимать набор состояний всех объектов, образующих множество объектов внешней среды в определенный момент времени. Будем обозначать ситуацию через $S_i$, тогда вышесказанное можно записать следующим образом: $S_i = \langle F, t_i \rangle$.

В свою очередь под состоянием объекта $f_i$ понимается множество (возможно, упорядоченное множество) существенных, с точки зрения решаемых задач, свойств (характеристик) данного объекта.

Место и роль подсистемы построения описания ситуации в общей схеме функционирования СППР представлены в виде обобщенной схемы управления (рис.).

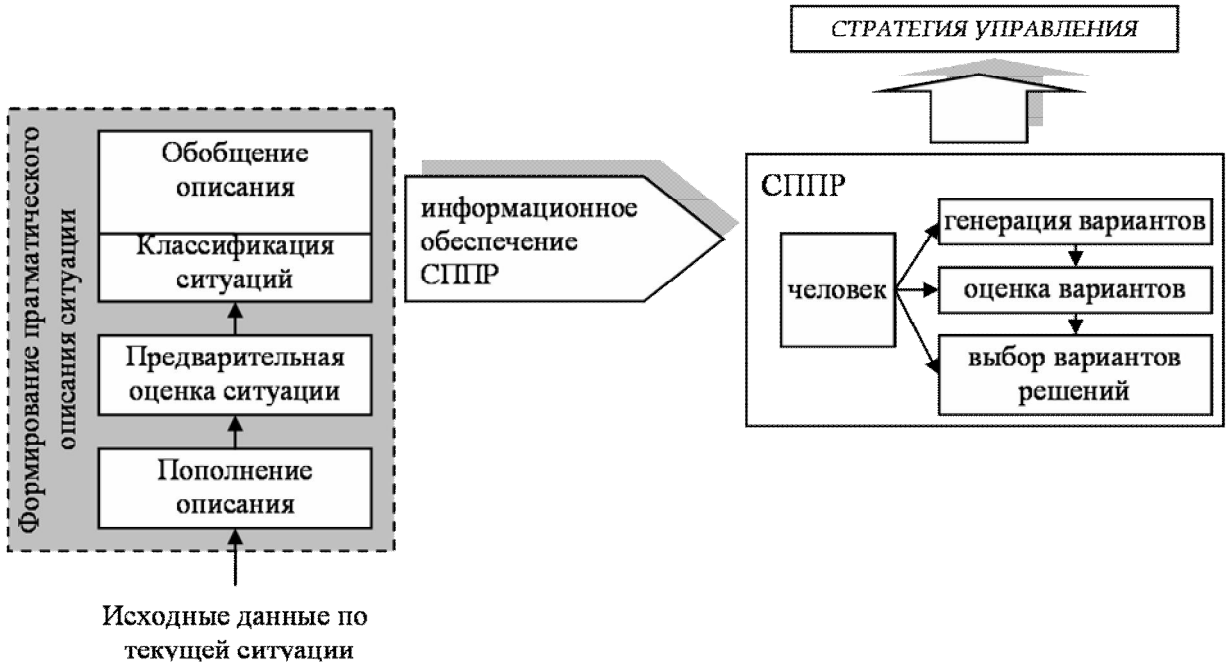



Рис. Схема функционирования СППР

Отображенный на схеме блок формирования описания ситуации обеспечивает предоставление автоматизированной системе информации, необходимой для корректной, обоснованной и эффективной выработки управленческих решений.

При решении практических задач мы часто встречаемся со множеством источников неопределенности используемой информации, но в большинстве случаев их можно разделить на две категории: недостаточно полное знание предметной области и недостаточная информация о конкретной ситуации.

Традиционным подходом для представления неопределённости является теория вероятностей – хорошо разработанная математическая теория с ясными и общепринятыми аксиомами.

Пусть $\Omega$ – конечное множество утверждений, замкнутое относительно отрицания и конъюнкции (любая суперпозиция функций из множества $\Omega$ снова принадлежит $\Omega$), а $\emptyset$ и I обозначают противоречивое и общезначимое утверждения соответственно в множестве $\Omega$. Тогда вероятностная мера P, определённая на $\Omega$, представляет собой определённость (вероятность, правдоподобность, уверенность) утверждения такую, что:

1. $P(\emptyset) = 0$.

2. $P(I) = 1$.

3. $P(a \vee b) = P(a) + P(b)$, если $a \,\&\, b \neq \emptyset$.

Классическая теория вероятностей имеет ряд недостатков. Один из них – как найти вероятностную меру P для конкретного множества утверждений, другой – на основании чего должно выполняться равенство $P(a) + P(\neg a) = 1$, т.е. событие либо произойдёт, либо нет (как пример, предприятие либо будет монополистом, либо утратит свою конкурентоспособность и покинет рынок). Если базе знаний конкретно неизвестно, является ли предприятие конкурентоспособным или нет, то нет оснований для выполнения равенства

*P(Конкур-но (предприятие))+ P(¬Конкур-но (предприятие))=1.*

Основной вопрос, возникающий при выборе функции неопределённости для множества утверждений, заключается в нахождении ограничений этой функции теми утверждениями, которые логически и вероятностно связаны между собой. Решение этого вопроса обеспечивается правилом Байеса:

$$P(H/E_1, E_2, ..., E_n) = \frac{P(H) \cdot P(E_1, E_2, ..., E_n/H)}{P(E_1, E_2, ..., E_n)}, \quad (1)$$

где $P(H/E_1, E_2, ..., E_n)$ – условная вероятность утверждения H при условии $E_1, E_2, ..., E_n$, т.е. это вероятность того, что утверждение H истинно, если истинны утверждения (события) $E_1, E_2, ..., E_n$.

Однако на практике определить вероятность того, что утверждения $E_1, E_2, ..., E_n$ истинны, и условную вероятность $P(E_1, E_2, ..., E_n/H)$ довольно трудно. Можно упростить ситуацию и считать утверждения $E_i$ независимыми:

$$P(E_1, E_2, ..., E_n) = P(E_1) \cdot P(E_2) \cdot ... \cdot P(E_n). \quad (2)$$

Однако насколько достоверно и обосновано предположение о статистической независимости утверждений $E_i$, можно судить лишь при проведении дополнительного анализа для каждого конкретного случая.

Другое упрощение касается статистической независимости утверждений $E_i$ при условии H:

$$P(E_1, E_2, ..., E_n/H) = P(E_1/H) \cdot P(E_2/H) \cdot ... \cdot P(E_n/H). \quad (3)$$

В теории Демпстера-Шейфера требование к условию $P(a) + P(\neg a) = 1$ ослаблено и вместо него имеет место неравенство

$$P(a) + P(\neg a) \leq 1. \quad (4)$$

Здесь основным средством для распределения и манипулирования степенями уверенности утверждений является

функция вероятностной меры $\mathrm{Mr}$, представляющая собой распределение базовых вероятностей на все возможные утверждения. Исходя из этого распределения, поддержка утверждению p определяется как $\sup(\mathrm{p}) = \sum \mathrm{Mr}(\mathrm{q})$, если $\{\mathrm{q} \to \mathrm{p}\}$, т.е. вероятностная мера любого утверждения q, из которого следует p, кладётся в общую копилку для p.

Правдоподобность утверждения p определяется следующим образом:

$$\mathrm{pls}(\mathrm{p}) = 1 - \sup(\mathrm{p}). \qquad (5)$$

Легко показать, что $\sup(\mathrm{p}) \le \mathrm{pls}(\mathrm{p})$. Отсюда степень уверенности утверждения p определяется доверительным интервалом:

$$\mathrm{conf}(\mathrm{p}) = [\sup(\mathrm{p}),\ \mathrm{pls}(\mathrm{p})]. \qquad (6)$$

Возвращаясь к рассматриваемой в диссертационной работе задаче, является ли предприятие конкурентоспособным или нет, получим интервал $[0,0]$, если в базе знаний нет никаких свидетельств о исследуемом предприятии, и $\mathrm{conf}(\neg \mathrm{p}) = [1, 1]$, если данное предприятие неконкурентоспособно.

Однако в подходе Демпстера-Шейфера имеются свои трудности. Так, неясно, что делать при выборе утверждений, доверительные интервалы которых перекрываются или значительно отличаются размерами.

Таким образом, и классическая теория вероятностей, и теория Демпстера Шейфера нуждаются в обосновании в каждом конкретном случае, когда мы имеем дело с неопределённостью. И только тщательный анализ видов неопределённости может дать ответ, какой из подходов более предпочтителен.

В системе MYCIN (известной экспертной системе по идентификации микроорганизмов в крови) неопределённость представляется в виде коэффициента уверенности CF. Этот коэффициент принимает значения в отрезке [–1, 1] (1 – заведомо истинно, –1 – заведомо ложно). Коэффициент уверенности CF [A, X] вывода A, если удовлетворяется предпосылка X, определим следующим образом, взяв за образец байесовскую вероятность (именно образец, поскольку проводить какую-либо аналогию между *CF* и вероятностью неправомерно) [4]:

$$\mathrm{CF}[\mathrm{A},\mathrm{X}] = \begin{cases} \dfrac{\mathrm{P}(\mathrm{A}\mid\mathrm{X}) - \mathrm{P}(\mathrm{A})}{1 - \mathrm{P}(\mathrm{A})}, \\ \text{если } \mathrm{P}(\mathrm{A}\mid\mathrm{X}) \ge \mathrm{P}(\mathrm{A}) \\ \dfrac{\mathrm{P}(\mathrm{A}\mid\mathrm{X}) - \mathrm{P}(\mathrm{A})}{\mathrm{P}(\mathrm{A})}, \\ \text{если } \mathrm{P}(\mathrm{A}\mid\mathrm{X}) < \mathrm{P}(\mathrm{A}) \end{cases} \qquad (7)$$

$$\left(\mathrm{P}(\mathrm{A}) \ne 0,\ 1\right)$$

Здесь $P(A)$, $P(A|X)$ соответственно априорная и апостериорная вероятности.

Помимо использования коэффициентов уверенности, в литературе описаны и иные подходы, альтернативные вероятностному. В частности, много внимания уделяется нечеткой логике (fuzzy logic).

То знание, которое использует эксперт при оценке признаков или симптомов, обычно базируется скорее на отношениях между классами данных и классами гипотез, чем на отношениях между отдельными данными и конкретными гипотезами. Большинство методик решения проблем в той или иной форме включает классификацию данных, которые рассматриваются как конкретные представители некоторых более общих категорий. Редко когда эти более общие категории могут быть четко очерчены. Конкретный объект может обладать частью характерных признаков определенной категории, а частью не обладать, принадлежность конкретного объекта к определенному классу может быть размыта. Предложенная Заде теория нечетких множеств (fuzzy set theory) представляет собой формализм, предназначенный для формирования суждений о таких категориях и принадлежащих к ним объектах. Эта теория лежит в основе нечеткой логики и теории возможностей (possibility theory).

Классическая теория множеств базируется на двузначной логике. Выражения в форме $a \in A$, где a представляет индивидуальный объект, а A — множество

подобных объектов, могут принимать только значение «истина» либо «ложь». После появления понятия «нечеткое множество» прежние классические множества иногда стали называть жесткими. Жесткость классической теории множеств стала источником ряда проблем при попытке применить ее к нечетко определенным категориям. Соответственно вычисления, использующие нечёткую логику, иногда называют мягкими.

Нечеткая логика имеет дело с ситуациями, когда и сформулированный вопрос, и знания, которыми мы располагаем, содержат нечетко очерченные понятия. Однако нечеткость формулировки понятий является не единственным источником неопределенности.

Теория возможностей является одним из направлений в нечеткой логике, в котором рассматриваются точно сформулированные вопросы, базирующиеся на неточных знаниях.

В настоящее время существует целый ряд моделей представления нечёткости в интеллектуальных системах, среди которых модель коэффициентов уверенности в MYCIN, вероятностная логика Нильсона, теория свидетельств Шейфера, теория возможностей Заде, модель голосования Бэлдвина, лингвистическая модель в MILORD и др.

Несмотря на различную природу нечёткости, формализованную в моделях, можно условно разбить эти модели на три группы по типу нечётких множеств, используемых для оценок объектов (значений функций принадлежности) в моделях [2].

К первой группе относятся модели с числовым значением функции принадлежности: модель коэффициентов уверенности, вероятностная логика. Вторая группа включает в себя интервально-значные модели: теория свидетельств, теория возможностей, модель голосования и т.д. Третья группа нечётко-значные модели, в частности лингвистическая модель в MILORD.

В целом при разработке СППР в условиях неполной информации нужно исходить из имеющихся данных, и в зависимости от их вида и количества выбирать метод их обработки.

**Список литературы**

1. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Фёдоров И.П. Принятие решений на основе нечётких моделей: примеры использования. Рига: Зинанте, 1990. 184 с.

2 Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В.Н. Вагин, Е.Ю. Головина, А.А. Загорянская, М.В. Фомина; под ред В.Н. Вагина, Д.А. Поспелова. М.: Физматлит, 2004. 704 с.

3. Литвак Б.Г. Разработка управленческого решения: учебник. М.: Дело, 2000. 392 с.

4. Романов В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике: учеб. пособие. М.: Экзамен, 2003. 496 с.

5. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений: научно-практическое издание. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». М.: СИНТЕГ, 1998. 376 с.

*Получено 03.07.12*

**L.A. Lisitsyn,** Candidate of Sciences, Southwest State University (Kursk) (e-mail: leo_263@mail.ru)

**Yu.A. Halin,** Lecturer**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: yur-khalin@yandex.ru )

**A.L. Lisitsyn,** Post-Graduate Student**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: dreadnout_13@mail.ru )

**SYSTEMS OF SUPPORT OF ADOPTION OF ADMINISTRATIVE DECISIONS IN THE CONDITIONS OF INCOMPLETE INFORMATION**

*Now for adoption of effective administrative decisions the intuition and experience of heads doesn't suffice, attraction of mathematical models and methods, and also introduction of information technologies is necessary. In work the approach to development of the system of information support of decision-making in the conditions of incomplete information is offered.*

***Key words**: system of support of decision-making, situation, probability theory and mathematical statistics, Dempstera-Schaefer's theory, fuzzy logic, theory of possibilities, factor of confidence.*

УДК 004.922

**Е.В. Мельник,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: katemel@mail.ru)

# ПРОЦЕДУРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ТЕКСТУР ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 3D-ОБЪЕКТОВ

*Предлагается метод генерации трехмерных процедурных текстур на основе детерминированных хаотических отображений для моделирования объектов и явлений в компьютерной графике.*

***Ключевые слова:*** *трехмерные текстуры, процедурные текстуры, рендеринг, детерминированные хаотические отображения.*

***

В связи с тем, что компьютерная графика все больше совершенствуется и даже переходит в область искусства, в настоящее время наблюдается увеличение интереса к трехмерной графике. Повышение требований к реалистичности создаваемых сцен делает актуальной оптимизацию способов применения текстур к моделируемым объектам.

Использование традиционных двумерных текстур имеет ряд недостатков. Во-первых, карты текстур занимают много оперативной памяти, причем на основе базовой текстуры согласно многим технологиям генерируются другие уровни текстурных карт, поэтому сцены с большим количеством карт или с большими картами замедляют процесс визуализации. Кроме того, часто применяют и прочие карты: освещенности, рельефа, окружающей среды и т.д. Во-вторых, при создании больших объектов, а также объектов переднего плана может понадобиться карта текстуры высокого разрешения, чтобы поверхность модели не выглядела деформированной после визуализации. И, третье, для двумерных карт приходится определять координаты наложения.

Способом, с помощью которого можно избежать связанных с картами текстур ограничений и при этом сохранить реалистичность изображения, является расчет текстур с применением математических формул, то есть использование процедурных текстур. В этом случае цвет текстуры в любой точке рассчитывается программно, а не определяется существующим растровым изображением. Такие текстуры не занимают в видеопамяти места, включают в себя неограниченный уровень детализации каждой текстуры в реальном времени, при использовании процедурных текстур не требуется проецирование. Процедурными текстурами можно имитировать дерево, мрамор, камень, кирпичную кладку, мокрый асфальт, стекло, то есть любой однородный материал. Процедурные текстуры хорошо подходят для использования в качестве bump-карты, предоставляя общую неоднородность материала, карты рельефа для создания шероховатых поверхностей. Кроме того, их можно успешно применять для создания случайных или фрактальных узоров, а также при моделировании реалистичной дымки из снега, пыли или газа.

В отличие от обычных текстур, которые изменяют только поверхность объекта, многие из процедурных текстур являются трехмерными. Это значит, что после использования с объектом булевых операций или другого типа извлечения элементов в вырезанных областях будет отображаться соответствующая внутренняя текстура. Элемент трехмерной текстуры представляет собой виртуальный монолитный куб. Каждая точка внутри текстурного куба имеет присвоенный ей цвет. Полигону, на который накладывается трехмерная текстура, присваиваются такие локальные координаты вершин, чтобы он являлся сечением куба. Поскольку при таком подходе рисунок трехмерных карт текстур меняется в пространстве, то при текстурировании обеспечивают реализацию плавных переходов цветов в текстуре, и вы видите изображение, образующееся

при пересечении текстуры с поверхностью объекта. Поэтому при работе с процедурными картами не требуются проекционные координаты. Кроме того, поскольку текстурные карты существуют во всех точках трехмерного пространства, их можно использовать для формирования материалов сложных объектов, подбор проекционных координат для которых является весьма трудоемкой задачей.

Важным свойством трехмерных текстур является способность реалистично имитировать материалы с характерной внутренней структурой. Многие материалы, например кирпич, черепица или градиентная заливка, имеют повторяющуюся структуру, которая легко может быть представлена уравнением. Математически можно имитировать мрамор, кожу, воду, гранит и многие другие сложные материалы с непериодической структурой.

Важным преимуществом трехмерных текстур является то, что они не образуют так называемых *текстурных швов* при присваивании объектам любой формы. Действительно, если обернуть двухмерное изображение вокруг шара, цилиндра или другого объекта более сложной формы, то всегда найдется место, где два или более края изображения соприкасаются и зритель видит четкий шов. В трехмерных текстурах этого не может произойти, так как они не являются изображением, которое может быть обернуто вокруг объекта. Они генерируются во всем объеме моделируемого объекта и зритель видит лишь ту часть, которая выходит на поверхность.

Помимо этого трехмерные текстуры позволяют реалистично имитировать спецэффекты, природные явления и даже движение тел. Это значит, что если поместить полигон последовательно, с заданным сдвигом, в трехмерную текстуру и так же последовательно его отображать, меняя только одну координату, получится эффект анимации, что делает возможным их изменение со временем. Подобным методом можно имитировать огонь, блики на поверхности воды и металлов, множество других эффектов. Особое место занимает возможность правдоподобной имитации объемных эффектов: дыма, взрывов, локального тумана достаточно простыми способами, по сравнению с технологией систем частиц. Комбинируя различные текстуры, можно создать сложные материалы.

Процедурная генерация трехмерных текстур имеет ряд преимуществ, среди которых возможность создавать различные эффекты с помощью редактирования параметров математических формул, которые используются для создания текстур. Благодаря возможности генерации случайного шумового процесса создаются материалы с рисунком в виде областей случайной формы и яркости. Другим преимуществом использования процедурных трехмерных текстур являются то, что они векторные, то есть не существует ограничений на приближение к объекту, чтобы рассмотреть его получше.

Процедурные трехмерные текстуры широко применяются в графических редакторах как затенители, определяемые не растровыми картами, а алгоритмически просчитываемые для всего объекта, к которому они применены и используются для моделирования освещенности. Трехмерные затенители используют при создании таких объемных явления, как, например, туман.

В настоящее время трехмерные процедурные текстуры нашли применение в таких программах 3D-моделирования, как Maya, Bryce, Cinema 4D и др., где они используются для нанесения на различные объекты: камни, траву, песок и т.д., а также в трехмерных играх.

На скорость рендеринга сцены с применением трехмерных процедурных текстур влияет *сложность используемых формул генерации*, в качестве которых

чаще всего используются фрактальные алгоритмы. В ряде случаев сгенерированные таким образом текстуры имеют заметную регулярность структуры и могут проигрывать по реалистичности растровым текстурам, созданным профессиональным художником. Для устранения этого недостатка в качестве математических выражений для создания процедурных текстур предлагается применение математических выражений детерминированных хаотических отображений.

Свойства и поведение хаотических систем делают возможным их применение в различных областях прикладных исследований, о чем говорит большое количество научных публикаций, появившихся за последние годы. Хаотическая динамика описывает особый тип процессов – детерминированный хаос, одним из видов представления таких процессов являются дискретные отображения. Выбор средств хаотической динамики в виде дискретных отображений для создания трехмерных процедурных текстур определялся такими их характеристиками как низкий уровень вычислительной сложности реализации отображений, а также тем, что порождаемая последовательность не выражается дисперсией, математическим ожиданием, законом распределения и автокорреляционной функции и имеет сплошной спектр. Это даст преимущество создания *нерегулярных структур* реальных материалов объектов.

На рис. приведен пример трехмерной текстуры, полученный с помощью математического выражения отображения Хенона:

$$\begin{cases} x_t = y_{t-1} + 1 - 1,4x_{t-1}^2; \\ y_t = 0,3x_{t-1}, \end{cases}$$

где $x_{t-1}$ и $y_{t-1}$ – значения координат отображения в момент времени t-1, $x_t$ и $y_t$ – значения координат отображения в момент времени t; стартовые значения координат должны принадлежать интервалу (0;1).

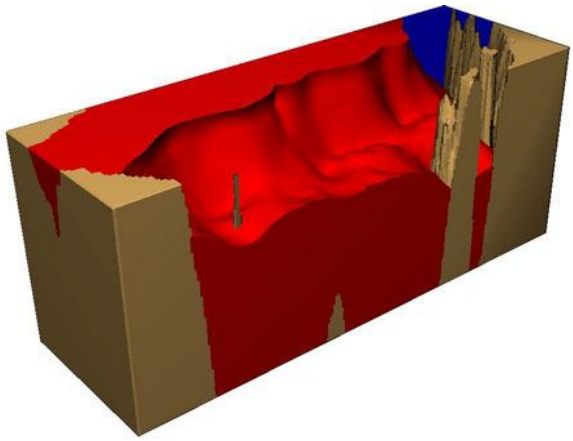


Рис. Пример трехмерной процедурной текстуры, рассчитанной с использованием математического выражения отображения Хенона

В качестве цветовых координат применялись промасштабированные в интервале [0, 1] координаты отображения.

Использование принципов хаотической динамики при генерировании процедурных текстур позволяет:

– применять хаотические отображения, используя их свойство строго повторять генерируемые числовые ряды при заданных равных стартовых значениях, что приводит к рациональной организации системы хранения и обработки информации;

– обеспечить рациональную организацию вычислений, уменьшение стоимости и надежности программного продукта за счет низкой вычислительной сложности записи хаотического отображения.

**Список литературы**

1. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. 528 с.

2. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Астахов В.В. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем. Фундаментальные основы и избранные проблемы. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1999. 368 с.

3. Хенон М. Двумерное отображение со странным аттрактором // Странные ат-

тракторы/ под ред. Я.Г. Синая и О.П. Шильникова. М.: Мир, 1981. С.152-163.

4. Мельник Е.В. Методы оптимизации обработки числовых функциональных зависимостей // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. Курск, 2008. Ч. 2. С.193-196.

*Получено 25.06.12*

**E.V. Melnik,** Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: katemel@mail.ru)

**PROCEDURAL GENERATION OF TEXTURES FOR COMPUTER MODELLING OF 3D-OBJECTS**

*The method of generation of three-dimensional procedural textures using determined chaotic records for objects modeling in computer graphics is offered.*

***Key words:*** *three-dimensional textures, procedural textures, rendering, determined chaotic records.*

---

УДК 861.3

**Л.А.Лисицин,** канд. техн. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: leo_263@mail.ru)

**Ю.А. Халин,** преподаватель**,** Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: yur-khalin@yandex.ru )

**Н.С.Ефанова,** аспирант**,** Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: nadyaefanova1988@yandex.ru)

**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ**

*В условиях рыночной экономики перед руководителями предприятий стоит актуальная задача оценки конкурентоспособности, которая требует обработки больших массивов информации. В работе предлагается подход к разработке системы информационной поддержки оценки конкурентоспособности предприятия.*

***Ключевые слова:*** *предприятие, конкурентоспособность, дерево функций, система информационной поддержки оценки конкурентоспособности.*

***

В рыночных условиях для организации эффективного управления конкурентоспособностью недостаточно интуиции и опыта руководителей, необходимо масштабное привлечение современных средств анализа больших объемов информации, моделирования и компьютеризации процессов управления. Организация управления конкурентоспособностью должна способствовать росту эффективности финансово-хозяйственной деятельности предприятия и стимулированию экономии всех видов ресурсов на основе их рационального использования, а также удовлетворению возрастающих потребностей потребителей продукции. В связи с этим возникает актуальная задача, заключающаяся в разработке системы информационной поддержки оценки конкурентоспособности (СИПОК).

Центральной задачей, стоящей перед синтезируемой системой, является формулировка целей, и формирование на этой основе критериев оптимальности и ограничений, при которых функционирует рассматриваемая система.

Целевая функция (F0) состоит в определении конкурентоспособности предприятия за определённый промежуток времени с требуемой достоверностью в условиях сложившейся рыночной ситуации.

Для синтеза структурно-функциональной организации СИПОК целесообразно осуществить декомпозицию $F_0$, т.е. построить дерево функций системы.

К основным функциям разрабатываемой системы отнесём:

$F_1$ – получение официальных данных о системных характеристиках конкурентной среды;

$F_2$ – сбор и обработка неофициальных данных о конкурентной среде (конкурентная разведка);

$F_3$ – построение траекторий развития конкурирующих предприятий;

$F_4$ – прогнозирование состояний элементов конкурентной среды.

Дальнейшая декомпозиция требуется для определения технической реализации функций системы комплексной оценки конкурентоспособности предприятия. Данная оценка основана на показателях деятельности предприятия, характеризующих следующие уровни развития:

$F_{11}$ – технический;

$F_{12}$ – технологический;

$F_{13}$ – социальный;

$F_{14}$ – организационный;

$F_{15}$ – экономический;

$F_{16}$ – экологический.

Конкурентная разведка реализуется с помощью:

$F_{21}$ – сбора информации о конкурентах из открытых источников;

$F_{22}$ – аналитическая обработка полученной информации;

$F_{23}$ – получение новых знаний на основе аналитической обработки.

Прогнозирование состояний предприятий-конкурентов декомпозируется на следующие подфункции:

$F_{31}$ – порождение гипотез о состояниях конкурирующих предприятий;

$F_{32}$ – получение прогнозных оценок на основе порождённых гипотез;

$F_{33}$ – проверка адекватности полученных прогнозных оценок.

Построение траекторий развития конкурирующих предприятий декомпозируется на:

$F_{41}$ – построение траектории собственного развития;

$F_{42}$ – построение траектории развития предприятий-конкурентов;

$F_{43}$ – определение конкурентных позиций предприятия на рынке;

$F_{44}$ – разработка стратегии дальнейшего поведения (сохранение позиций на рынке или обгон конкурентов).

Построенное дерево функций (рис. 1) позволяет перейти к следующим этапам структурного синтеза. Разрабатываемая СППР должна представлять собой сочетание многофункциональных и специализированных программных модулей.

Сформированное дерево функций позволяет построить обобщённую операторную модель СИПОК [2]. При этом полное определение оператора включает:

- вид преобразования;
- объекты, подлежащие преобразованию;
- условия выполнения преобразований.

В работе [2] выделены совокупности вещественных, энергетических и информационных операторов.

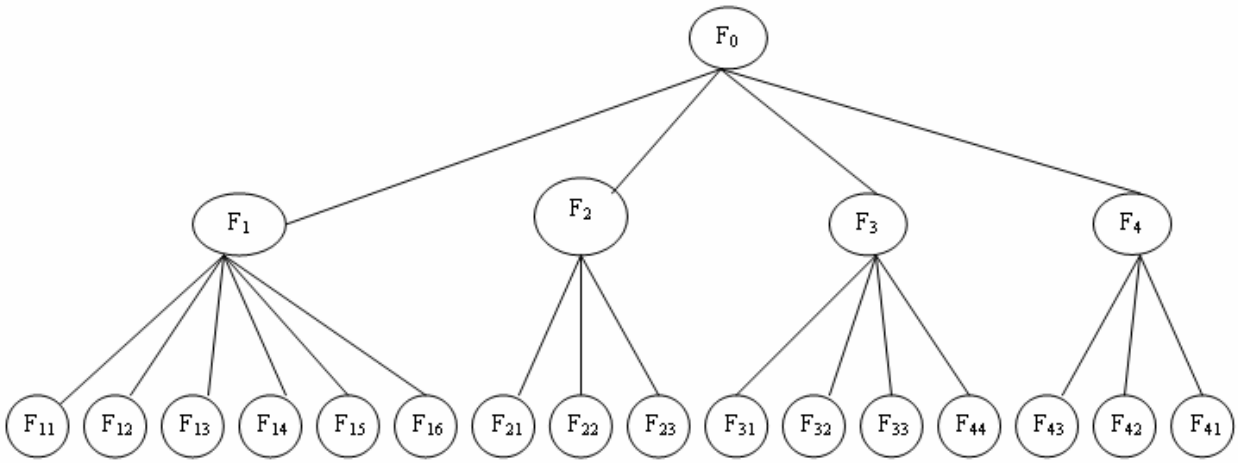



Рис. 1. Дерево функций СИПОК

Поскольку система не имеет целью переработку и транспортировку вещества, основное предназначение заключается в преобразовании информации о рыночной ситуации, то для построения операторной модели будем использовать следующий набор операторов:

PI – преобразование (обработка) информации $\left[ I_i \Rightarrow I_j \right]$;

MI – накопление (запоминание) информации $\left[ I_i(t) \Rightarrow I_i(t + \Delta t) \right]$;

TI – передача (обмен) информации $\left[ I_i(S_k) \Rightarrow I_i(S_l) \right]$;

CI (PI, MI, TI) – управление процессами преобразования, накопления и передачи информации.

Переход от дерева функций к операторным моделям осуществляется путём декомпозиции внешних и внутренних связей между функциями каждого уровня, выделенными при формировании дерева функций. Представление функций для третьего уровня декомпозиции набором функциональных операторов приведено в таблице.

Задача структурного синтеза на рассматриваемом этапе сводится к построению модели системы на основе функциональных модулей с последующим покрытием этой структуры конструктивными. Формирование функциональных и конструктивных модулей осуществляется посредством эквивалентных преобразований функциональных операторов на основе ряда приемов, базирующихся на концепции единства многофункциональности и специализации:

- разделения или совмещения реализуемых функций;
- использование операторов непрерывной и дискретной настройки;
- регенерации функций;
- инверсии функций системы;
- реализации новых функций и макрофункций на основе определённого набора функций (микрофункций).

Функциональные операторы

| Функция | Функциональный оператор |
|---|---|
| $F_{11}$, $F_{12}$, $F_{13}$, $F_{14}$, $F_{15}$, $F_{16}$, $F_{22}$, $F_{33}$, $F_{14}$, $F_{42}$ | PI |
| $F_{21}$, $F_{31}$, $F_{32}$ | MI |
| $F_{23}$, $F_{43}$ | TI |
| $F_{44}$ | CI |

Реализация перечисленных приёмов на обобщённой операторной модели СИПОК приводит к формированию функциональных модулей высокого уровня (рис. 2).

Важную роль в синтезированной структурно-функциональной организации играет ДСМ-система, которая позволяет обрабатывать разнородные данные конкурентной разведки.

На вход ДСМ-системы в качестве примеров подавались дискретизированные входы и выходы нечеткой системы.

Каждый пример описывается множеством элементарных признаков и наличием (или отсутствием) целевого свойства. С помощью специальных логических процедур из этой базы знаний ДСМ-система получает гипотезы, которые объясняют свойства исходных примеров из-за наличия или, наоборот, отсутствия в структуре примеров определенной совокупности признаков. В результате ДСМ-система выделяет из исходной информации в базе знаний существенные совокупности признаков, т. е. осуществляет автоматическую классификацию. ДСМ метод успешно применим в тех областях знаний, где пример можно представить в виде множества (или кортежа) элементарных признаков. В нашей задаче для каждого конкурирующего предприятия такие признаки можно выделить.

Таким образом, предложенная структурно-функциональная организация даёт возможность адекватной оценки конкурентоспособности предприятия в сложившейся рыночной ситуации.

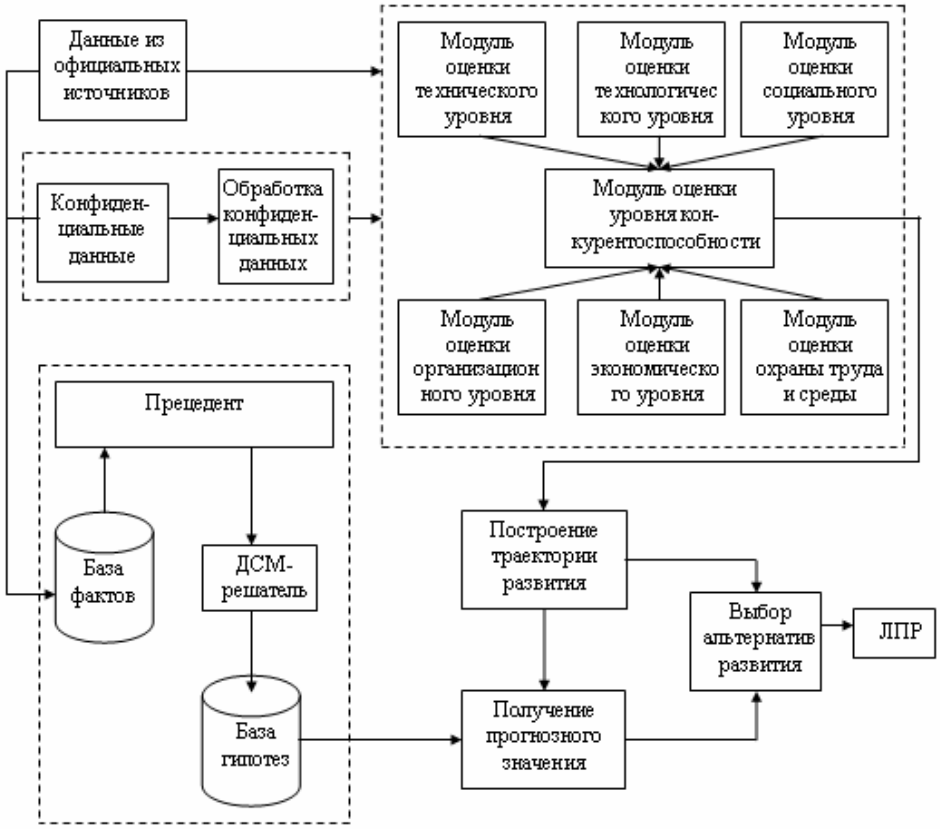



Рис. 2. Схема взаимодействия модулей СИПОК

**Список литературы**

1. Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах / сост. Е.С. Панкратова, В.К. Финн; Под общ. ред. В.К. Финна. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 528с.

2. Балашов, Е. П. Эволюционный синтез систем. М.: Радио и связь, 1985. 256 с.

3. ДСМ-метод автоматического порождения гипотез: Логические и эпистемологические основания / сост. О.М. Аншаков, Е.Ф. Фабрикантова; под общ. ред. О.М. Аншакова. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 432 с.

4. Фатхутдинов Р.А. Управление конкурентоспособностью организации. М.: Изд-во Эксмо, 2004. 544с.

*Получено 06.07.12*

**L.A. Lisitsyn,** Candidate of Sciences, Southwest State University (Kursk) (e-mail: leo_263@mail.ru)

**Yu.A. Halin,** Lecturer**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: yur-khalin@yandex.ru )

**N.S. Efanova,,** Post-Graduate Student**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: nadyaefanova1988@yandex.ru)

**STRUCTURALLY FUNCTIONAL ORGANIZATION OF SYSTEM OF INFORMATION SUPPORT OF THE ASSESSMENT OF COMPETITIVENESS**

*In the conditions of market economy before heads of the enterprises there is an actual problem of an assessment of competitiveness which demands processing of big arrays of information. In work the approach to development of the system of information support of an assessment of competitiveness of the enterprise is offered.*

***Key words:*** *enterprise, competitiveness, tree of functions, system of information support of an assessment of competitiveness.*

УДК 629.786

**В.А. Пиккиев,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: rw3ww@mail.ru)

**С.Н. Самбуров,** главный специалист РКК «Энергия» (Королев, Московской области)
(e-mail:: rv3dr@mail.ru)

**Р.Ю Богомазов,** студент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail:: r3w-158@sporadic.ru)

**А.А. Луценко,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail:: anton@sporadic.ru)

# АНАЛИЗ РАБОТЫ ФОТОКАМЕР МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «КЕДР»

*Статья посвящена анализу работы фотокамер малого космического аппарата «Кедр», находившегося на орбите Земли в течение 6 месяцев. В работе приведены сведения о составе аппаратно-программного комплекса системы фотокамер и результатах его функционирования.*

***Ключевые слова:*** *спутник, космос, малый космический аппарат.*

***

Система фотокамер малого космического аппарата «Кедр» предназначена для фотографирования земной поверхности и состоит из нескольких фотокамер, устройства управления и памяти для хранения фотографий. Камеры, используемые в этом спутнике, типовые в коммерческом исполнении (рис. 1,2). Две камеры закреплены в верхней и две в нижней части корпуса малого космического аппарата «Кедр». Они обеспечивают разрешение даже лучше, чем требуется формату SSTV, имеют малую потребляемую мощность, широкий динамический диапазон освещенности, быстрый запуск. Основные параметры фотокамер представлены в таблице.

Основные параметры фотокамер спутника «Кедр»

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Сенсор | ¼ дюйма CCD |
| Разрешение картинки | NTSC:512H x 492V<br>PAL:512H x 582 V |
| Чувствительность | 1 Люкс на F=1.4 |
| Видеовыход | 1 Vpp,75 Ом Композитный |
| Баланс белого | Автоматически |
| Отношение Сигнал/Шум | Более 46Дб |

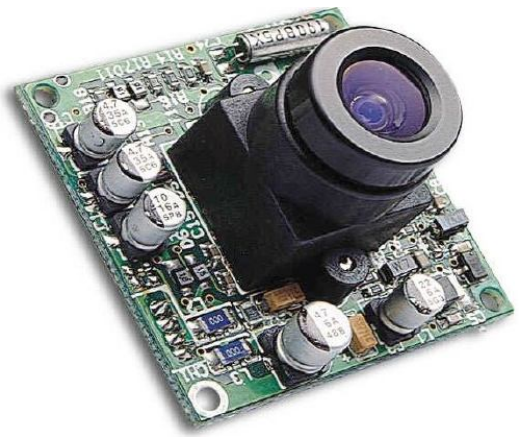


Рис.1. Фотокамера спутника «Кедр»

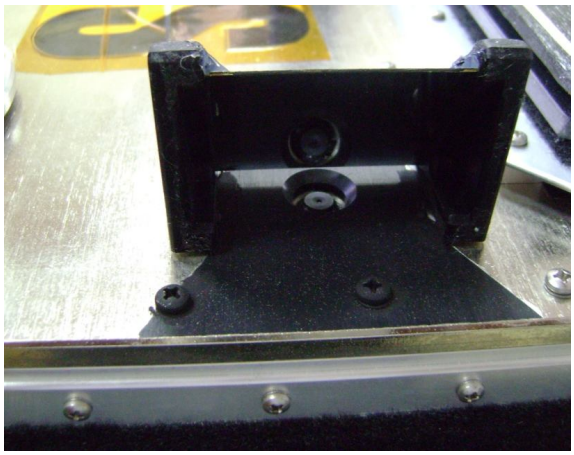


Рис.2. Размещение камер в спутнике «Кедр»

После вывода на орбиту программное обеспечение модуля управления с момента включения постоянно отсчитывало полетное время. В течение 8 дней 14часов 5 минут и 14 секунд системы малого космического аппарата работали в штатном режиме, далее произошел перезапуск системы и сброс счетчика. Это свидетельствует о том, что питание по истечении этого времени происходило только от солнечных батарей, а аккумуляторная батарея перестала функционировать. Сбор информации с фотокамер и передача ее на Землю не прекращалась до последней минуты существования спутника. В результате было получено большое количество фотографий Земли со всех четырех камер. Пример таких изображений приведен на рис. 3.

Таким образом, с помощью спутника «Кедр», созданного в рамках космического эксперимента РАДИОСКАФ, была проведена отработка технологии использования системы фотокамер малых космических аппаратов.

Результаты обработки телеметрических данных, полученных от фотокамер малого космического аппарата «Кедр», позволяют говорить об успешном космическом эксперименте. В соответствии с целью эксперимента, были проведены теоретические и практические изыскания, которые позволили:

– систематизировать условия функционирования фотокамер на малых космических аппаратах в околоземном пространстве;

– разработать и изготовить конструкцию и аппаратно-программный комплекс системы фотокамер;

– разработать методику и провести летные испытания аппаратно-программного комплекса системы фотокамер для малых космических аппаратов.

*Данная работа сделана в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.*

*Получено 20.06.12*

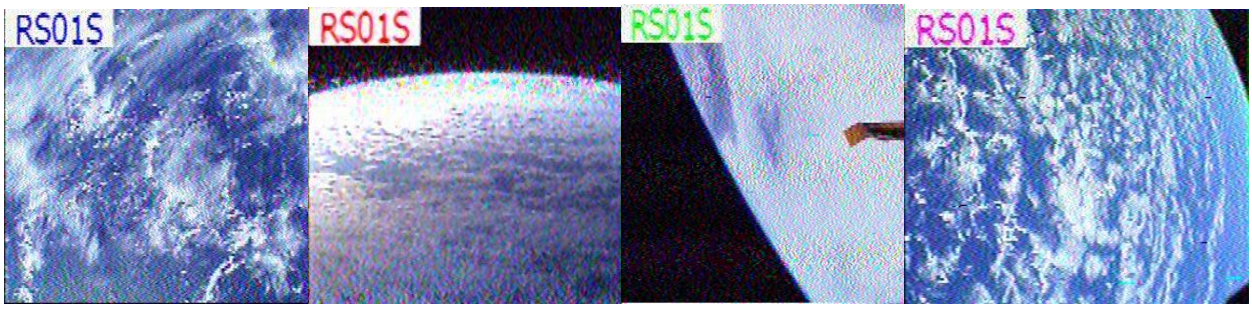



Рис. 3. Фотографии Земли

**V.A. Pikkiev,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: rw3ww@mail.ru)

**S.N. Samburov,** Chief Specialist , RSC "Energia" (Korolev) (e-mail: rv3dr@mail.ru)

**R.Y. Bogomazov ,** Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: r3w-158@sporadic.ru)

**A.A. Lutsenko,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: anton@sporadic.ru)

**ANALYSIS OF THE CAMERA SMALL SPACECRAFT "CEDAR"**

*This article analyzes the operation of the camera small spacecraft "KEDR". This paper provides information of the hardware-software complex system of cameras and the results of its operations with the composition of small spacecraft "KEDR", who was orbiting the Earth for 6 months.*

***Key words:*** *satellite, small spacecraft and space.*

## *Машиностроение*

УДК 621.825.5

**С.А. Сергеев,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: ssa-cib@yandex.ru)

**Т.В. Дмитракова,** начальник отдела менеджмента качества, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: 21ntv@rambler.ru)

**К.Н. Фомина,** студент, Юго-Западный государственный университет (Курск)

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА И ЗВЕЗДОЧЕК ЦЕПНЫХ МУФТ

*Решены задачи станочного зацепления, позволяющие определить действительные параметры профилей зубьев звездочек-полумуфт и зуборезного инструмента.*

***Ключевые слова:*** *цепная муфта, автоматизированное проектирование, звездочки-полумуфты, зубоформирующий инструмент.*

***

Муфты, используемые во многих машинах и механизмах, – ответственные узлы, часто определяющие надежность всего машинного агрегата. Стоимость муфты невелика по сравнению со стоимостью основного оборудования, однако выход из строя муфты увеличивает время простоя оборудования, что приводит к значительным материальным потерям [1].

Проведение комплексного исследования процессов, сопровождающих работу передаточного механизма, для создания научных основ анализа и синтеза цепных муфт позволит повысить их технико-экономические показатели и, как следствие этого, эффективность эксплуатации машин [2].

На данном этапе развития науки и техники конечной целью исследований цепных муфт является создание научных основ и принципов системы автоматизированного проектирования звездочек-полумуфт и инструмента для их изготовления с учетом основных эксплуатационных требований, предъявляемых к профилю зубьев звездочек-полумуфт, а также с учетом возможного применения прогрессивных технологических способов формообразования зубьев при использовании минимального числа профилирующего инструмента.

Основные направления исследований должны быть следующими: 1) создание прогрессивных методов определения параметров зубьев звездочек-полумуфт и зуборезного инструмента; 2) разработка методики исследования станочного зацепления; 3) получение алгоритма оптимального проектирования звездочек-полумуфт и зубоформирующего инструмента для повышения качества цепных муфт; 4) прогнозирование главных направлений совершенствования конструкций звездочек-полумуфт и зубоформирующего инструмента; 5) создание основ системы автоматизированного проектирования звездочек-полумуфт и инструмента [1].

Рассмотрим станочное зацепление при обработке звездочек-полумуфт методом обката для случаев, когда технологическая пара деталь – инструмент представлена парами колесо – рейка и колесо – колесо, с тем, чтобы определить действительные параметры профиля зубьев звездочки-полумуфты при использовании зубоформирующего инструмента типа «рейка» и «колесо» с заданным исходным производящим контуром (прямая задача), а также чтобы найти действительные параметры профиля зубоформирующего инструмента указанных типов при определенных параметрах профиля зубьев звездочек-полумуфт (обратная задача). Ниже приведены результаты анализа основных параметров профилей: действительного, получаемого при использовании зубоформирующего инструмента реечного типа с исходным производящим контуром по ГОСТ 15127, и теоретического – по ГОСТ 591.

Для решения прямой и обратной задач была использована теория огибающей [3]. Следует отметить, что для прямой задачи огибаемой является исходный производящий контур инструмента, а для обратной задачи – определенный профиль зубьев звездочки-полумуфты. Решение задач сводится к определению параметров огибающей поверхности, при этом огибающая поверхность в прямой задаче будет искомым профилем зубьев звездочки-полумуфты, а в обратной – искомым производящим контуром инструмента. Огибающая описывается системой уравнений

$$\begin{cases} R = R(u,z,\varphi); \\ \dfrac{\partial R}{\partial u}\cdot\dfrac{\partial R}{\partial z}\cdot\dfrac{\partial R}{\partial \varphi} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где R – радиус-вектор точки огибаемой поверхности; и, z – параметры точки на данной поверхности; ц – параметр движения.

При решении задач введем следующие системы отсчета:

1) $\tilde{S}_j(x_j, y_j, z_j)$ – подвижная декартова система, жестко связанная со звездочкой-полумуфтой, профиль зубьев которой (при решении прямой задачи) в ней определяется (рис. 1), а в обратной – выполняет роль огибаемой (рис. 2);

2) $\tilde{S}_i(x_i, y_i, z_i)$ – подвижная декартова система, жестко связанная с инструментом, профиль зубьев которого (при решении прямой задачи) в ней задается (рис. 1), а в обратной – в ней определяется (рис. 2);

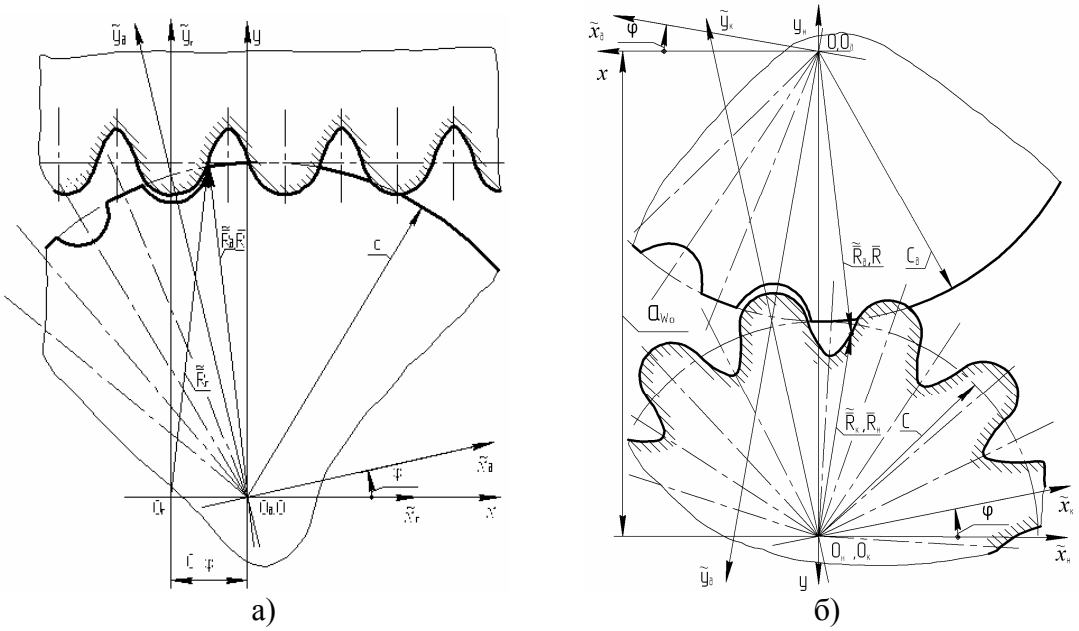
3) S (x, y, z) – неподвижная декартова система в начальном положении, когда *ц* – угол поворота звездочки-полумуфты и для прямой и для обратной задач равен нулю, системы $S_j$ и $S$ совпадают друг с другом.

Решение системы уравнений (1) заключается в приведении ее к одному векторно-параметрическому уравнению вида R=R(u, z), которое позволяет с учетом комбинаций обкаточных движений, характерных для инструмента реечного типа (рис. 1,а), получить параметры профиля звездочки-полумуфты

$$x_j = x_i(u)\cos\varphi + y_i(u)\sin\varphi - c\varphi\cos\varphi, \quad (2)$$

$$y_j = y_i(u)\cos\varphi - x_i(u)\sin\varphi + c\varphi\sin\varphi, \quad (3)$$

$$\varphi = \left\{ tg\beta_i(u)\left[y_i(u) - c\right] + x_i(u)\right\} / c. \quad (4)$$



а) б)

Рис. 1. Схема станочного зацепления технологической пары деталь-инструмент для определения параметров профиля детали при использовании инструмента: а – реечного типа; б – типа колесо

Параметры профиля детали, получаемые обкаточным инструментом типа «колесо», с определенным профилем и соответствующими параметрами движения (рис. 1б) следующие:

$$x_j = x_i(u)\cos(\varphi + n\varphi) -$$
$$-y_i(u)\sin(\varphi + n\varphi) - a_{\omega_0}\sin\varphi,$$
$$y_j = x_i(u)\sin(\varphi + n\varphi) +$$
$$+y_i(u)\cos(\varphi + n\varphi) + a_{\omega_0}\cos\varphi,$$
$$\varphi = n^{-1}\arcsin\{(1+n)[-x_i(u)\cos\beta_i(u) -$$
$$-y_i(u)\sin\beta_i(u)]/a_{\omega_0}\} - \beta_i(u).$$

В (2) – (7) $x_i(u), y_i(u)$ – параметры профиля инструмента (огибаемой) в подвижной системе координат $\tilde{S}_i$; $\beta_i(U)$ – угол наклона касательной к профилю инструмента в соответствующей его точке и осью абсцисс системы координат $\tilde{S}_i$; $c$ – радиус центроиды; $n$ – передаточное число: $n = a_{\omega_0}/c - 1$; $a_{\omega_0}$ – межосевое расстояние звёздочки-полумуфты и инструмента типа «колесо».

Таким образом, полученные решения (2) – (7) позволяют определить параметры действительного профиля зубьев звездочки-полумуфты при известных параметрах профиля инструмента и их обкаточных движений.

Обратная задача заключается в определении параметров профиля зубоформирующего инструмента при заданных параметрах профиля зубьев звездочки-полумуфты. В результате ее решения для инструмента реечного типа (рис. 2) будем иметь

$$x_i = x_j(u)\cos\varphi - y_i(u)\sin\varphi + c\varphi,$$
$$y_i = x_j(u)\sin\varphi + y_j\cos\varphi,$$
$$\varphi = \arcsin\{[y_j(u)\sin\beta_j(u) +$$
$$+x_j(u)\cos\beta_j(u)]/c\} - \beta_j(u).$$

Заметим, что параметры профиля зубоформирующего инструмента типа «колесо» можно определить при соответствующем использовании уравнений (5) – (7).

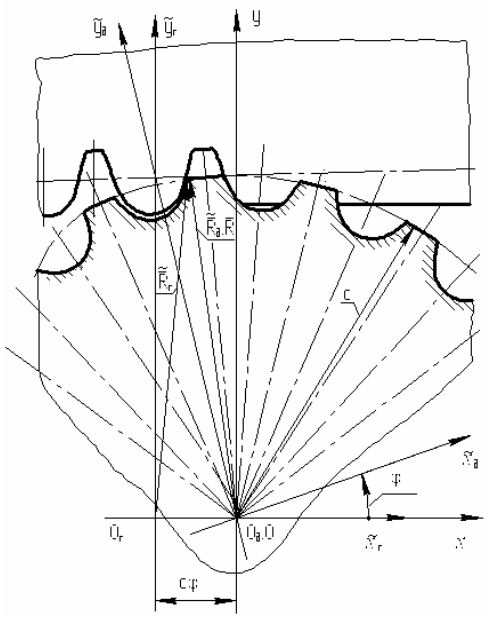



Рис. 2. Схема станочного зацепления технологической пары деталь-инструмент для определения параметров профиля инструментальной рейки

Полученные результаты позволяют сравнить параметры действительного профиля, сформированного инструментом реечного типа, например червячной фрезой, с параметрами теоретического (стандартного) профиля. При этом в качестве критериев для сопоставления профилей приняты параметры, наиболее существенно влияющие на работоспособность цепной передачи: углы и радиусы кривизны профиля в соответствующих точках в пределах его рабочего участка.

Сравнение проведено по разработанной на кафедре «Машиностроительные технологии и оборудование» программе «COMPARE», реализованной на ЭВМ IBM PC. В программу были введены следующие исходные данные.

1. Характеристика рабочего зацепления: шаг цепи P=15,875 мм; диаметр ролика $d_r$= 10,16 мм; число зубьев звездочки-полумуфты: а) z = 14; б) z=16; в) z=18.

2. Характеристика инструмента в соответствии с ГОСТ 15127: а) исполнение I; б) исполнение II.

Максимальные отклонения параметров действительного профиля зубьев звездочек от теоретического в пределах рабочего участка

| z | | 14 | 16 | 18 |
|---|---|---|---|---|
| $\Delta\alpha_{max}$ | $P_{ин} = \frac{P\pi}{z\sin 0.5\tau}$ (тип *а*) | 18,68% | 13,05% | 11,08% |
| | $P_{ин} = 1,011P$ (тип *б*) | 15,79% | 12,84% | 14,59% |
| $\Delta\rho_{max}$ | $P_{ин} = \frac{P\pi}{z\sin 0.5\tau}$ (тип *а*) | 37,61% | 25,93% | 15,26% |
| | $P_{ин} = 1,011P$ (тип *б*) | 36, 56% | 25,66% | 17,64% |

3. Характеристика станочного зацепления; шаг исходного производящего контура: а) $P_{ин} = P\pi / z\sin 0.5\tau$; б) $P_{ин}$=1,011P; радиус центроиды $c = P(x + \cos ec 0.5\tau)$, где ф – угловой шаг звездочки-полумуфты, ф= 360°/z; x – коэффициент смещения, характеризующий величину смещения начальной прямой инструмента относительно центроиды обрабатываемой детали,

$$\chi = 0,5(1,011z/\pi - 1/\sin 0.5\tau. \quad (11)$$

4. Характеристика теоретического (стандартного) профиля в соответствии с ГОСТ 591: а) исполнение I; б) исполнение II.

Принятые обозначения: *z* – число зубьев звездочки-полумуфты; $\Delta\alpha_{max}$ – максимальное отклонение угла действительного профиля зуба звездочки-полумуфты от теоретического в пределах рабочего участка. $\Delta\alpha_{max} = \frac{\alpha_д - \alpha_т}{\alpha_т} \times 100\%$;

$\Delta\rho_{max}$ – максимальное отклонение радиуса кривизны действительного профиля зуба звездочки-полумуфты от теоретического в пределах рабочего участка, $\Delta\rho_{max} = \frac{\rho_д - \rho_т}{\rho_т} \times 100\%$.

Результаты расчетов показали, что исполнение инструмента (I или II) не оказывает значительного влияния на отклонения исследуемых параметров. Максимальные отклонения действительных параметров профилей зубьев звездочек-полумуфт от теоретических, в пределах их рабочих участков, представлены в таблице.

Как видно из таблицы, у звездочек-полумуфт, нарезаемых инструментом в виде рейки, при $z \le 16$ величины $\Delta\alpha_{max}$ и $\Delta\rho_{max}$ более значительны в тех случаях, когда шаг инструмента взят по типу *а.* Если $z > 16$, то максимальные отклонения параметров профиля зубьев звездочек-полумуфт имеют место при использовании инструмента с шагом, взятым по типу б.

*Работа выполнена по теме гранта Президента Российской* Федерации №МК-668.2011.8.

**Список литературы**

1 Сергеев С.А. Цепные муфты: анализ и синтез: монография. Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2010. 398 с

2. Сергеев С.А., Червяков Л.М., Емельянов И.П. Методология проектирования цепных муфт. монография. LAP LAMBERT Academic Publishing. Серия "Современное машиностроение". Saarbrücken, Germany, 2011. 325с.

3 Лашнев С.И., Борисов А.Н., Емельянов С.Г. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами: монография. Курск, 1997. 391 с.

*Получено 28.05.12*

**S.A. Sergeev,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: ssa-cib@yandex.ru)

**T.V. Dmitrakova,** Head of Quality Management Department, Southwest State University (Kursk) (e-mail: 21ntv@rambler.ru)

**K.N. Fomina,** Student, Southwest State University (Kursk)

**DESIGNING OF CUTTING TOOLS AND SPROCKET CHAIN COUPLING**

*The paper solved the problem of machine meshing which allows determine the actual parameters of the profile sprocket teeth-coupling halves and cutting tools.*

***Key words****: chain coupling, computer aided design, star-coupling halves, teeth forming tool.*

---

УДК 621.31

**А.Н. Горлов,** канд. техн. наук, ст. преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kafedra.es@yandex.ru)

**О.М. Ларин,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kafedra.es@yandex.ru)

**Д.В. Чернышева,** преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kafedra.es@yandex.ru)

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

*В статье рассматриваются структура и принципы работы автоматизированных систем управления энергопотреблением на промышленных предприятиях.*

***Ключевые слова:*** *энергетический баланс, энергосбережение, система автоматизированного учета, энергетический мониторинг.*

***

На современном этапе развития экономики топливно-энергетические ресурсы промышленного предприятия являются стратегическими, с точки зрения его жизнеспособности, и находятся в одном ряду с такими видами ресурсов, как людские, производственные и финансовые. Эффективность использования энергетических ресурсов на предприятии влияет на рентабельность его работы, являясь одним из рычагов управления его конкурентоспособностью.

Одним из основных приоритетов производственной политики любого крупного промышленного предприятия является создание условий для функционирования и развития основного производства при максимально эффективном использовании топливно-энергетических ресурсов. Разработка и практическое внедрение различных организационно-экономических методов позволяет устранить нерациональное использование топливно-энергетических ресурсов и способствует внедрению быстроокупаемых технических и технологических мероприятий.

Себестоимость продукции в промышленности, как правило, в значительной степени определяется затратами на приобретение и производство топливно-энергетических ресурсов.

При этом особую ценность приобретают мероприятия, не требующие значительных инвестиций и позволяющие использовать имеющиеся резервы снижения удельного энергопотребления существующего на предприятии оборудования.

Необходимо отметить, что в проведении целенаправленной работы по экономии затрат на закупку энергоресурсов можно выделить два основных направления:

- внедрение мероприятий по оптимизации энергоёмкости и энергосбережению;
- внедрение автоматизированного учета энергоресурсов.

Оба направления взаимосвязаны и являются неотъемлемыми элементами программы по экономии энергоресурсов,

при реализации которой необходимо проводить системный анализ режимов энергопотребления (исходная информация поступает из систем технического и коммерческого учета) с целью оптимизации этих режимов, что позволяет значительно снизить расходы на эксплуатацию энергохозяйства предприятия. Сложность решения данной оптимизационной задачи, как правило, связана с отсутствием или неопределенностью информации о характере протекающих процессов энергопотребления и только внедрение систем автоматизированного учета энергоресурсов позволяет исключить данный недостаток.

Наличие системы автоматизированного учета позволяет автоматически и оперативно составлять энергобаланс предприятия. При этом основной целью анализа энергобаланса является определение основных направлений экономии и рационального использования электроэнергии, выбора оптимальной стратегии управления планированием электропотребления. Энергобаланс является базой для улучшения методов нормирования энергопотребления. Нормирование энергопотребления - один из основных факторов, определяющих проведение энергосберегающей политики и ее эффективности на предприятии.

Таким образом, методы экономического анализа и системы автоматизированного учета должны активно использоваться в области нормирования расхода ресурсов и управления энергопотреблением на предприятиях. При этом очевидно, что расчёт и анализ дифференцированных по агрегатам удельных и суммарных показателей расхода энергоресурсов необходим не только для контроля, анализа и планирования энергозатрат, но и для определения ряда экономических показателей (себестоимости, рентабельности и др.).

В ходе исследования в качестве предметной области для применения методик управления энергопотреблением обычно выбираются технологические процессы потребления энергоресурсов крупных промышленных предприятий.

Все вопросы, связанные с эксплуатацией энерго- и электрооборудования, организацией снабжения энергоресурсами таких предприятий обычно находятся в компетенции Топливно-энергетического комплекса (ТЭК).

Основной технологической задачей ТЭК как структурного подразделения является обеспечение надёжного бесперебойного энергоснабжения подразделений предприятия всеми видами энергоресурсов требуемых параметров.

Одним из направлений по совершенствованию подходов планирования затрат при многономенклатурном производстве, к которому относится производственный цикл, является внедрение в работу соответствующих подразделений предприятия методов экономического факторного анализа.

С учётом этого, одновременно с модернизацией и созданием систем автоматизированного технического и коммерческого учета энергоресурсов, значительно улучшается информационное обеспечение управления режимами энергопотребления, а также повышается эффективность самого управления.

Конкретная постановка производственных задач факторного анализа в полной мере корреспондирует с основной задачей экономического факторного анализа.

Отсюда, основная цель применения факторного анализа в ТЭК металлургического производства заключается в выявлении факторов, оказывающих наиболее заметное влияние на отклонение результирующего показателя (потребления энергоресурсов) от планового значения, выработке рекомендаций для последующего управления выбранными параметрами.

Для реализации основной функции факторного анализа вносятся некоторые изменения в стандартную схему управления, в результате чего получаем усовершенствованную схему, представленную на рис. 1.

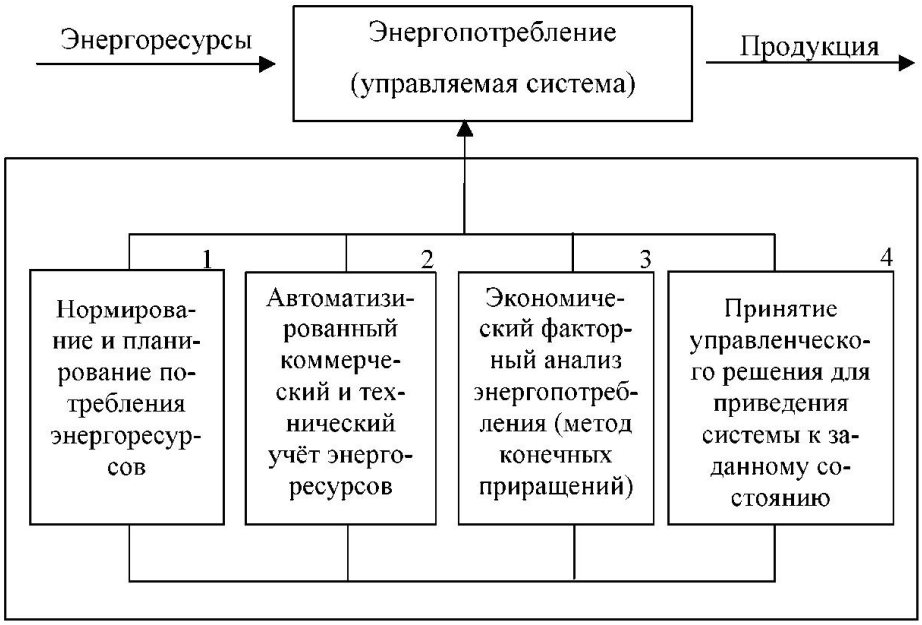



Рис. 1. Система управления энергопотреблением на предприятии

Таким образом, управление энергопотреблением с использованием аппарата анализа факторных систем осуществляется по следующему алгоритму:

- определяется необходимый набор моделей и на их основе производится расчёт удельных показателей и планирование суммарного объёма потребляемого вида энергоресурса;

- проводится факторный анализ моделей энергопотребления, вычисляются значения величин факторного влияния. При необходимости производится ранжирование факторов по величинам оценки влияния, оказанного их отклонением от плановых значений на изменение объёма потребления того или иного вида энергоносителя. В установленной форме формируется исходная информация для поддержки принятия управленческого решения;

- на основе полученных данных вырабатывается управленческое решение по приведению уровня энергопотребления к некоторому нормативному значению.

При этом управление процессом может быть направлено как на решение задачи минимизации энергоёмкости (энергосбережение), так и на решение задачи минимизации отклонения фактического значения энергопотребления от планового.

Предложенная концепция управления и методики анализа вписывается в контур управления использованием энергетических ресурсов (рис. 2).

Блок анализа в представленном контуре предусматривает проведение, согласно разработанному регламенту, анализа использования основных видов ресурсов цехами предприятия, а также анализа удельной энергоёмкости, которая является универсальным критерием оценки эффективности использования ресурсов.

Рассмотрим автоматизированную систему комплексного учета и управления энергопотреблением (АСКУУЭ), которая позволяет управлять энергопотреблением на предприятии в реальном времени, с любой заданной степенью детализации, любыми видами энергоресурсов и в соответствии с действующими отраслевым стандартам, общенациональными стандартами и внутренними стандартами предприятия.

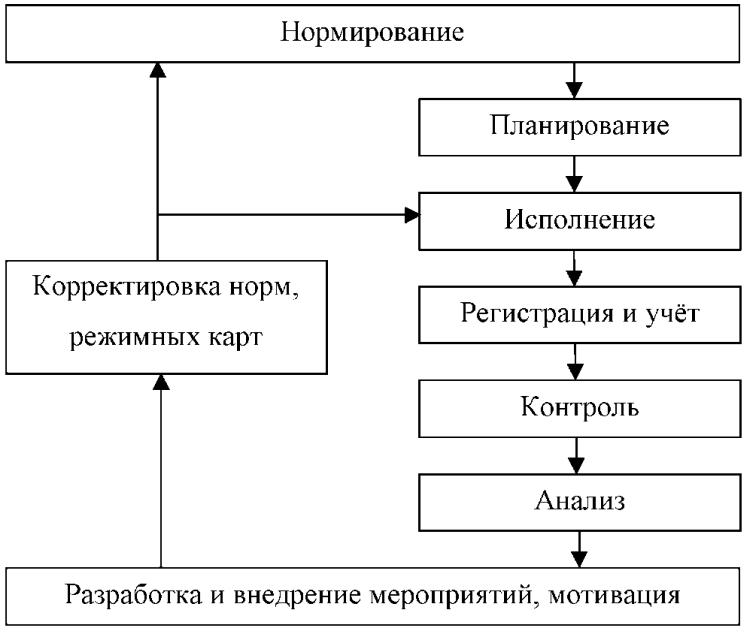



Рис. 2. Контур управления использованием энергоресурсов

Структура АСКУУЭ включает четыре вертикальных уровня. На уровне IV находятся различные измерительные устройства - счетчики и датчики. Уровень III - это устройства сбора и передачи данных (УСПД). На II уровне располагаются сервера опроса - это компьютерные программно-аппаратные комплексы, предназначенные для взаимодействия с УСПД. На уровне I находятся автоматизированные рабочие места (АРМ) сотрудников службы управления энергохозяйством предприятия.

Системы такого типа включают несколько основных компонентов: COM-сервер, представляющий собой специализированную серверную программу, обеспечивающую базовую функциональность комплекса; базу данных, содержащую в себе все служебные данные, необходимые для работы системы, и хранящую всю информацию, собираемую в процессе работы системы; четыре основных АРМ (администратора, диспетчера, энергетика и экономиста), соответствующих типовому распределению ролей на предприятии; OPC-серверы, предназначенные для связи с оборудованием УСПД.

В результате можно сделать вывод, что многообразие задач энергосбережения требует применения новых подходов для планирования работ в этой области. Возникает проблема управления процессом энергосбережения с целью получения наибольшего экономического эффекта. Значит, необходима разработка систем управления энергосбережением с применением информационных технологий. Наиболее эффективно применение данных систем будет в том случае, если для оценки энергоэффективности в них будут применяться различные критерии или показатели, аналогов которым в настоящее время нет.

Пути решения повышения эффективности энергопотребления на промышленных предприятиях, в том числе связаны с внедрением энергетического менеджмента, который позволит решать данную проблему не только с технической, но и с управленческой точки зрения. Многообразие возможных путей решения проблемы энергосбережения требует разработки экспертных систем энергетического менеджмента на предприятиях.

*Научно-исследовательская работа ведется в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.*

**Список литературы**

1. Андрижиевский А.А., Володин В.И. Энергосбережение и энергетический менеджмент. Минск: Вышейшая школа, 2005. 294 с.

2. Воскобойников Д. М. Управление энергосбережением в промышленности. Рига, 1989. 124 с.

3. Гительман Л.Д., Ратников В.Е. Безрисковый энергоменеджмент. Промышленное предприятие на рынке электроэнергии. М.: Дело, 2004. 168 с.

4. Похабов В.И., Клевзович В.И., Ворфоломеев В.В. Энергетический менеджмент на промышленных предприятиях. Минск: Технопринт, 2002. 176 с.

*Получено 15.06.12*

**A.N. Gorlov,** Candidate of Sciences, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kafedra.es@yandex.ru )

**O.M. Larin,** Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kafedra.es@yandex.ru )

**D.V. Chernysheva,** Lecturer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kafedra.es@yandex.ru)

**PRESENT STATE OF ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS AT INDUSTRIAL ENTERPRISES**

*The article considers the structure and principles of the automated control systems for energy consumption of industrial enterprises.*

***Key words:*** *energy balance, energy saving, auto registration systems, energy monitoring.*

---

УДК 621.9.01, 621.824.42

**М.С. Разумов,** канд. техн. наук, ст. преподаватель Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: mika_1984_@mail.ru)

**А.О. Гладышкин,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: gladfilat@yandex.ru)

**В.Н. Кассихин,** ст. преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: lusgsh@yandex.ru)

**А.Н. Гречухин,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: agrechyhin@mail.com)

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ШПИНДЕЛЯ СТАНКА ПРИ ТОЧЕНИИ ПРОФИЛЬНЫХ ВАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА**

*В статье рассматривается определение скорости вершины режущих кромок при планетарном точении гранной поверхности. Рассмотрены и проанализированы параметры скоростей в точке врезания инструмента и в точках, имеющих наибольшую скорость. Получена формула для расчета требуемой частоты вращения шпинделя станка.*

***Ключевые слова****: планетарный механизм, гранная поверхность, скорость, частота вращения.*

***

На выбор технологии изготовления деталей машин влияют множество критериев, основными из которых считаются производительность, стоимость, качество.

Повышение производительности всегда актуально при выполнении таких сложных и трудоёмких операций, как обработка тел вращения некруглого профиля (некруглые стержни, многогранники, затылованные поверхности червячных фрез и т.д.). Такие тела обрабатываются фрезерованием с помощью делительных устройств или точением с применением кулачковых механизмов [1].

Основной недостаток этих способов – низкая производительность [2].

С целью повышения производительности обработки профильных валов, которые имеют сечения многоугольной формы, при минимальных затратах, и

достаточным качеством в Юго-Западном государственном университете был разработан способ и устройство для его реализации [3,4]. Данный способ формообразования заключается в том, чтобы придать посредством планетарного механизма режущим кромкам инструмента движение по сложной траектории (рис. 1), описываемой уравнением гипотрохоиды.

Уравнения изменения координат вершины резца, описывающей траекторию в виде гипотрохоиды с центром в начале координат, в зависимости от времени *t* имеют вид:

$$x(t) = (R - r)\cdot\cos(\omega t) + d\cdot\cos\left(\frac{R-r}{r}\cdot\omega t\right);$$

$$y(t) = (R - r)\cdot\sin(\omega t) - d\cdot\sin\left(\frac{R-r}{r}\cdot\omega t\right), \quad (1)$$

где x, y – координаты точки гипотрохоиды на плоскости относительно центра координат O в системе координат XOY;

R – радиус неподвижного колеса;

r – радиус колеса, на валу которого расположен резцедержатель;

d – расстояние от оси резцедержателя до обрабатываемой заготовки,

ω - угловая скорость вращения шпинделя.

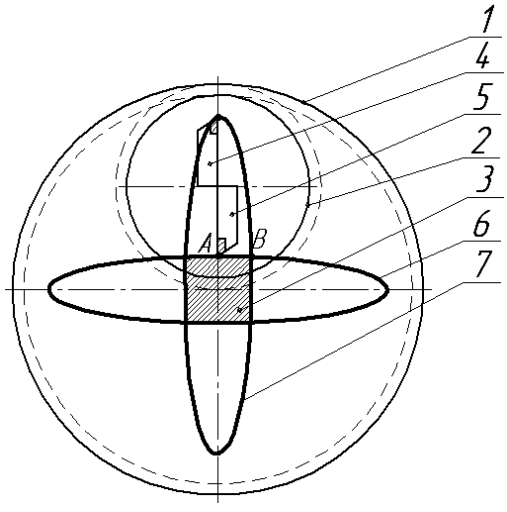



Рис.1 Схема формообразования гранного профиля планетарным точением:
1 – неподвижная шестерня; 2 – подвижное колесо; 3 – получаемая деталь; 4,5 – резцы; 6,7 – траектории соответствующих резцов

Продифференцировав уравнения (1) по переменной времени *t*, получим уравнения для линейных скоростей вершины резца относительно осей *OX* и *OY* соответственно:

$$v_x(t) = \frac{dx(t)}{dt} = -\omega\cdot\sin(\omega t)\cdot(R - r) - \frac{\omega\cdot d\cdot\sin\left[\frac{\omega\cdot t(R-r)}{r}\right]\cdot(R - r)}{r};$$

$$v_y(t) = \frac{dy(t)}{dt} = \omega\cdot\cos(\omega t)\cdot(R - r) - \frac{\omega\cdot d\cdot\cos\left[\frac{\omega\cdot t(R-r)}{r}\right]\cdot(R - r)}{r}. \quad (2)$$

упростив (2), получим:

$$v_x(t) = \frac{\omega\left(d\cdot\sin\left(\omega\cdot t - \frac{R\cdot\omega\cdot t}{r}\right) - r\cdot\sin(\omega\cdot t)\right)\cdot(R-r)}{r};$$

$$v_y(t) = \frac{\omega(R-r)\cdot\left(d\cdot\cos\left(\frac{R\cdot\omega\cdot t - \omega\cdot r\cdot t}{r}\right) - r\cdot\cos(\omega\cdot t)\right)}{r}. \quad (3)$$

Модуль вектора линейной скорости вершины резца определим по формуле

$$v(t) = \sqrt{v_x(t)^2 + v_y(t)^2}. \quad (4)$$

После подстановки (2) и (3) в (4) и упрощения результата, получим:

$$v(t) = \sqrt{\frac{\omega^2\cdot(R-r)^2\cdot\left(d^2 + r^2 - 2\cdot d\cdot r\cdot\cos\left(\frac{R\cdot\omega\cdot t}{r}\right)\right)}{r^2}}.$$

Из формул и графиков скоростей (рис. 2) видно, что с течением времени скорость меняется по синусоидальному закону. Таким образом представляет интерес расчет и сравнения скоростей в точке *B* (точка начала резания) и в точке *A*, где скорость является максимальной.

Для нахождения скорости в точке врезания инструмента *B* нам потребуется значение параметра ω*t* в данной точке. Данная формула может быть представлена в виде

$$\omega t_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{\left(1-\cos(\varphi)\right)\cdot(r+d)}{\sin(\varphi)\cdot(r-d)}\right),$$

где $t_1$ - параметр точки в момент врезания инструмента в заготовку,

$\varphi$ – угол между осями гипотрохоид, описываемых соседними резцами, для двух резцов он равен $\frac{\pi}{2}$.

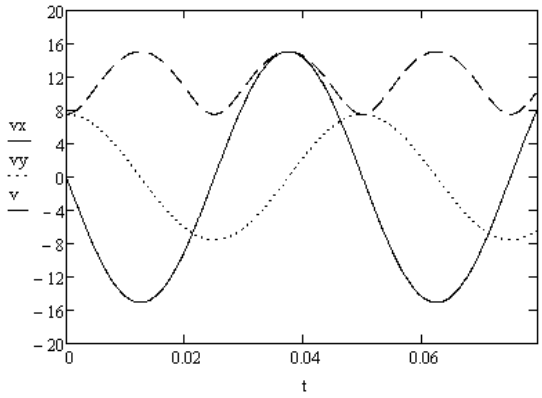



Рис. 2. Графики скоростей вершины режущего инструмента

Из графика видно, что при увеличении значения d разница между значениями скоростей уменьшается, и при высоких значениях d она становится весьма незначительна. Также из рисунка 1 видно, что наибольший припуск снимаемого металла приходится на точку А. Исходя из чего, можно сделать вывод о целесообразности ведения расчета режимов резания для всей обработки применительно к точке А, в которой наблюдается максимальное значение скорости.

Максимальная скорость достигается при $\cos\left(\frac{R\cdot\omega\cdot t}{r}\right)$ равном - 1, т.е. при

$$\omega(t) = \frac{\pi}{N},$$

где N – количество режущих кромок.

Тогда формула для вычисления максимальной скорости примет вид

$$v_{max} = \frac{\omega\cdot(R-r)\cdot(d+r)}{r}.$$

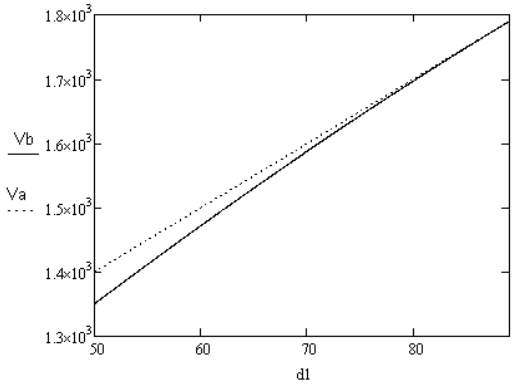



Рис. 3. Графики зависимости скорости вершины режущего инструмента от вылета резца

Так как мы рассматриваем случай для соотношения R/r = 2, то R – r = r, тогда формула примет вид:

$$V = \omega\cdot(d+r).$$

Угловая скорость (она же скорость шпинделя станка) рассчитывается следующим образом:

$$\omega = \frac{V}{(d+r)}.$$

Таким образом, полученная формула позволит, имея рассчитанные значения линейной скорости резания, назначить требуемую частоту вращения шпинделя станка.

*Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».*

**Список литературы**

1. Тимченко А.И. Технология изготовления деталей профильных бесшпоночных соединений. М.: ВНИИТЭМР, 1988. 160 с.

2. Воронов В.Н. Формообразование и кинематика резания при фрезоточении некруглых профилей // Автоматизация и современные технологии. 2001. №7. С. 8-11.

3. Пат. № 2391184 Российская Федерация, МПК B23B5/44. Устройство для обработки многогранников с четным числом сторон / А.И. Барботько, Р.А. Пузыревский, М.С. Разумов // заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Курский государственный технический универси-

тет. № 2008133265/02; заявл. 12.08.2008; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 16.

4. Барботько А.И., Разумов М.С. Обработка на токарном станке многогранников с четным числом сторон // Вестник машиностроения. 2010. №1. С. 46-48.

*Получено 07.06.12*

**M.S. Razumov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: mika_1984_@mail.ru)

**A.O. Gladyshkin,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: gladfilat@yandex.ru)

**V.N. Kassihin,** Senior Lecturer, Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: lusgsh@yandex.ru)

**A.N. Grechyhin,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: agrechyhin@mail.com)

**THE MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE SPEED OF MACHINE SPINDLE FOR TURNING STILE SHAFT USING PLANETARY GEAR**

*The article discusses the definition of the velocity at the top of the cutting edges of the planetary turning sided surface. Reviewed and analyzed the parameters of the velocity at the point of incision tool and the points having the highest rate. A formula for calculation of demanded frequency of rotation of a spindle of the lathe are received in this article.*

***Key words**: the planetary gear, facet surface, velocity, rotating speed.*

---

УДК 658.5

**О.В. Аникеева**, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: olesya-anikeeva@yandex.ru)

**А.Г. Ивахненко,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел. (4712)32-61-00)

**В.В. Куц,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел. (4712)32-61-00)

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭТАПА ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕМОНТА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

*Представлена модель этапа планирования процесса ремонта металлорежущих станков, включающая подпроцессы: диагностики технического состояния, прогнозирования технического состояния и выбора и принятия стратегии ремонта станка. Разработана математическая модель оптимизации восстанавливаемых при ремонте значений параметров геометрической точности станков.*

***Ключевые слова:** этап планирования, ремонт, металлорежущий станок, параметры геометрической точности, межремонтный период.*

***

Конкурентоспособность выпускаемой продукции отрасли машиностроения обусловлена техническим состоянием металлорежущего оборудования, на котором она изготавливается. Его моральный и физический износ на предприятиях РФ, по экспертным оценкам, составляет от 65% до 85%. Устранить моральный и физический износы оборудования возможно лишь двумя способами: с помощью обновления парка оборудования или проведения ремонтных работ. Из-за недостатка финансовых ресурсов, в большинстве случаев применяют второй способ.

В то время, когда промышленные предприятия стран-держав машиностроения широко применяют систему технического обслуживания и ремонта технологического оборудования по фактическому техническому состоянию, на большинстве отечественных промышленных предприятий действует Единая система планово-предупредительного ремонта,

основанная на утвержденном в 1966 году Положении о планово-предупредительном ремонте технологического и подъемно-транспортного оборудования машиностроительных предприятий. При использовании данной системы возникают ошибки первого и второго рода, когда ремонту подлежит оборудование, не израсходовавшее свой ресурс точности, или возникает необходимость проведения внепланового ремонта, что снижает как эффективность оборудования, так и интенсификацию и эффективность производства в целом.

В настоящее время для повышения эффективности технологического оборудования на предприятиях различных отраслей широко применяют систему Total Productive Maintenance (TPM), целью которой является создание организации, которая постоянно стремится к предельному и комплексному повышению эффективности производственной системы за счет продуктивного обслуживания оборудования с участием всего персонала. При этом перед предприятиями, несмотря на большое число источников информации об удачных примерах внедрения системы, возникает главная проблема достижения поставленной цели – обеспечение технологической надежности технологического оборудования при минимальных затратах.

Используя процессный подход, разработана модель этапа планирования процесса ремонта станка (рис. 1), позволяющая выявить способ обеспечения технологической надежности станков.

Представленная модель процесса ремонта МРС включает в себя следующие подпроцессы:

- диагностики технического состояния;
- прогнозирования технического состояния;
- выбора и принятия стратегии ремонта станка.

Основным резервом повышения качества процессов эксплуатации и ремонта МРС является переход от планово-предупредительного обслуживания и ремонта оборудования к обслуживанию и ремонту по действительному техническому состоянию.

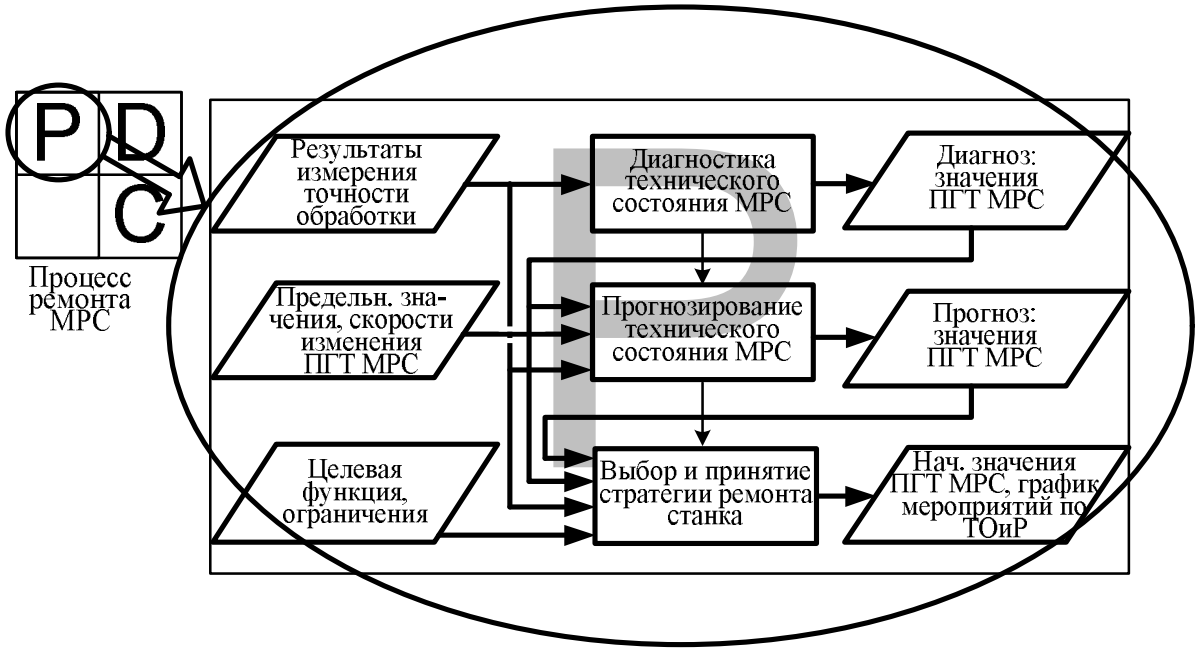



Рис. 1. Модель этапа планирования процесса ремонта МРС: МРС – металлорежущий станок; ПГТ – параметры геометрической точности; ТОиР – техническое обслуживание и ремонт

Использование такой стратегии обслуживания требует широкого применения средств и методов диагностирования. В связи с этим возникает необходимость определения таких показателей объекта технического диагностирования, которые позволили бы с минимальными затратами достоверно определить его техническое состояние.

Для диагностики технического состояния МРС в работе [1] предложен метод функциональной диагностики, состоящий из пяти этапов и обеспечивающий возможность управления технологическим оборудованием машиностроительного предприятия по его фактическому техническому состоянию. Метод диагностики основан на вариационном методе расчета точности станка [2], использующем результаты измерения точности обработанных на станке поверхностей деталей.

Для прогнозирования технического состояния МРС в работе [3] предложен алгоритм, определяющий изменение значений показателей геометрической точности станков в процессе эксплуатации.

Разработанные программные средства [4-7] обеспечивают автоматизацию процессов диагностирования и прогнозирования состояния токарно-винторезных (ТВС) и вертикально-фрезерных станков (ВФС), сокращая временные ресурсы на проведение этих процессов.

При выполнении диагностики и прогнозирования состояния ТВС и ВФС, в качестве образца-изделия следует применять тестовую деталь, изготовленную на них (рис. 2). Представленная деталь включает множество поверхностей, необходимых для полной диагностики станков: ЦП – цилиндрическая поверхность; ВП – винтовая поверхность; ППТ – поверхность плоского торца; ПЦП – боковая полуцилиндрическая поверхность шпоночного паза (ШП); БП – плоская боковая поверхность ШП; ПД – поверхность дна ШП.

Для оптимизации восстанавливаемых при ремонте значений параметров геометрической точности станков разработана математическая модель:

а) б)

Рис. 2. Тестовая деталь для диагностики и прогнозирования состояний ТВС и ВФС:
а) модель тестовой детали; б) изготовленная деталь и ее контроль

$$
\begin{cases}
\forall \delta w_{ij} \subseteq \Delta rc_n : \cup \delta w_{ij}^{н} \to \max \vee \\
\forall \delta w_{ij} \subseteq \Delta rc_n : \\
f(\delta w) = \sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{6} M_{ij} \delta w_{ij}^{н} \to \max : \\
0 \le M_{ij} \le 1, \\
\sum_{i=0}^{a-1} \sum_{j=1}^{6} M_{ij} \le 6a; \\
\begin{cases}
\delta w_{ij}^{min} \le \delta w_{ij} \le \delta w_{ij}^{max}; \\
\Delta rc_n \le k\Delta^n : k \in [0,3;0,5]; \\
f(R) \le \Delta R; \\
\delta w_{ij\,\Delta rc_n}^{min} \le \delta w_{ij\Delta rc_n} - v_{ij} T\delta w_{ijij};
\end{cases} \\
0 \le T\delta w_{ij} \le k' T\delta w_{ij}^{max}, k' \in [0,1); \\
S(T) : TU_i = T\delta w_{ij} \vee TU_i = \min\{T\delta w_{ij}\} : \\
T\delta w_{ij} < 2\min\{T\delta w_{ij}\} \vee f(T\delta w_{ij}, \min\{T\delta w_{ij}\}); \\
\{W_{ij}\} = \delta w_{ij}^{н}(S(T)) - \text{решение},
\end{cases}
$$

где $\delta w_{ij}$ – параметры геометрической точности i-го узла станка, определяемые из уравнений размерных цепей, составленных на основе уравнений балансов геометрической точности МРС; i=0..a – номер узла станка; a – число узлов станка; j=1..6 – степени свободы; $\Delta rc_n$ – уравнение размерной цепи, составленное на основе уравнений балансов геометрической точности МРС; $\delta w^{н}_{ij}$ – начальные значения параметров геометрической точности i-го узла станка, мкм(рад); $M_{ij}$ – коэффициент, отражающий техническую и экономическую сложность восстановления параметра $\delta w_{ij}$ до начального значения $\delta w^{н}_{ij}$ (находится экспертными методами; $\delta w^{min}_{ij}$ – минимальное начальное значение отклонения параметра геометрической точности i-го узла станка, определяемое с помощью стандартов на нормы точности станков или экспериментальным путем, мкм(рад); $\delta w^{max}_{ij}$ – максимальное значение отклонения параметра геометрической точности i-го узла станка, станка, определяемое с помощью стандартов на нормы точности станков или экспериментальным путем, мкм(рад); k – коэффициент, учитывающий долю влияния геометрических погрешностей узлов формообразующей системы (ФС) на общую величину погрешности обработки [8]; $\Delta^n$ – значение погрешности обработки поверхности п, мкм; f(R) – выражение, отражающее связь отклонений расположения поверхностей от параметров геометрической точности МРС; $\Delta R$ – значение погрешности отклонения расположения поверхностей, мкм(рад); $\delta w^{min}_{ij\,\Delta rc_n}$ – минимальное начальное значение отклонения параметра геометрической точности i-го узла станка, определяемое с помощью преобразованного уравнения баланса нормальных погрешностей при обработке поверхности п, мкм(рад); $\delta w_{ij\Delta rc_n}$ – значение параметра геометрической точности i-го узла станка, определяемое с помощью преобразованного уравнения баланса нормальных погрешностей при обработке поверхности п, мкм(рад); $v_{ij}$ – среднее значение скорости изменения значения параметра $\delta w_{ij}$, мкм/год или рад/год (определяется экспериментальным путем); $T\delta w_{ij}$ – период между восстановлениями значений параметров $\delta w_{ij}$ геометрической точности узлов $U_i$ ФС станка, ч; $T\delta w_{ij}^{max}$ – максимальное значение времени между восстановлениями значений параметров геометрической точности $\delta w_{ij}$ узлов МРС до требуемых значений, ч; $k' \in [0,1)$ – коэффициент запаса времени, задаваемый экспертами предприятия для исключения возникновения параметрического отказа; S(T) – стратегии ремонта каждого из узлов $U_i$ ФС станка; $TU_i$ – межремонтный период каждого из узлов $U_i$ ФС станка, ч; $\{W_{ij}\}$ – множество решений задачи оптимизации.

Выбор стратегии S(T) ремонта узла ФС станка предлагается осуществлять из предложенных вариантов:

**- S1. Стратегия неодновременного ремонта (ремонта по фактическому состоянию):** время начала ремонта каждого из узлов $U_i$ ФС станка совпадает со временем достижения значений ПГТ $\delta w_{ij}$ узла $U_i$ предельных значений: $TU_i = T\delta w_{ij}$.

**- S2. Стратегия одновременного ремонта:** время начала ремонта узла $U_i$ ФС станка совпадает с кратчайшим временем достижения значения одного из ПГТ $\delta w_{ij}$ узла $U_i$ предельного значения: $TU_i = \min\{T\delta w_{ij}\}$.

При этом после достижения значениями параметров геометрической точности узла станка предельных значений, необходимо определить $\min\{T\delta w_{ij}\}$ для каждого из узлов $U_i$. При выборе данной стратегии восстановлению должны подлежать все значения параметров геометрической точности узла $U_i$ ФС станка, период $T\delta w_{ij}$ между восстановлениями которых удовлетворяет условию $T\delta w_{ij} < 2 \cdot \min\{T\delta w_{ij}\}$.

**- S3. Комбинированная стратегия:** в зависимости от типа и объема производства, а также ситуационного планирования процесса выпуска продукции, эксперты предприятия принимают комбинированную стратегию, долю участия стратегий S1 и S2 в которой определяют самостоятельно: S3=f(S1,S2).

Оценка возможности реализации выбранной стратегии происходит, исходя из технических, финансовых и кадровых возможностей предприятия.

Для принятия решения о ремонте нескольких узлов станка необходимо пользоваться основанными на S1, S2 и S3 стратегиями SS1: $T_{MPC}=TU_i$, SS2: $T_{MPC} = \min\{TU_i\}$ при $TU_i < 2 \cdot \min\{TU_i\}$ и SS3 = f(SS1, SS2), где $T_{MPC}$ – межремонтный период станка, ч.

После принятия решения о ремонте каждого из узлов станка, вид ремонта станка определяется согласно классификации, принятой в системе планово-предупредительного ремонта [9].

На основе разработанной математической модели предложен метод поддержки принятия решений по выбору стратегии ремонта станка (рис. 3).

Основываясь на разработанной модели этапа планирования процесса ремонта станка, используя метод диагностики технического состояния, алгоритме прогнозирования технического состояния и методе поддержки принятия решений по выбору стратегии ремонта станка, обеспечение технологической надежности станка предлагается осуществлять с помощью способа, представленного на рис. 4.

Способ обеспечения технологической надежности МРС реализует цикл Деминга и поддерживает внедрение системы TPM на машиностроительных предприятиях.

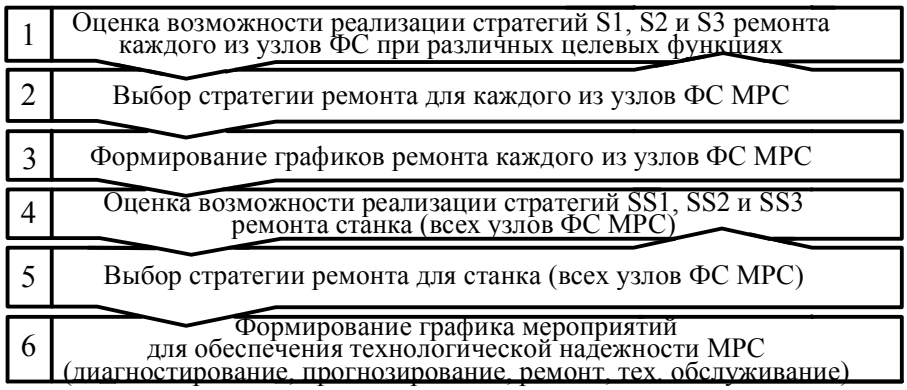



Рис.3. Метод поддержки принятия решений по выбору стратегии ремонта станка

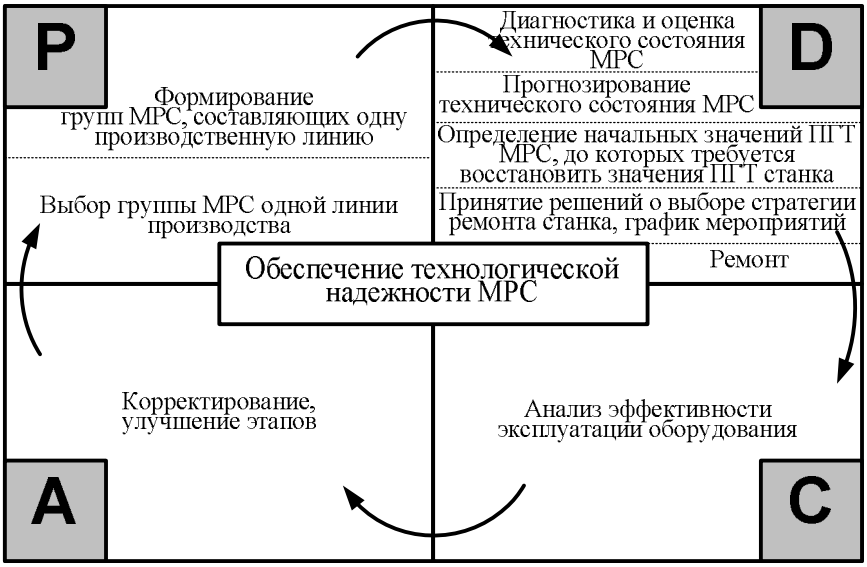



Рис. 4. Способ обеспечения технологической надежности МРС

Апробация разработанного метода функциональной диагностики для моделей станков УТ16В и 6Д12, при обработке 20 тестовых деталей, изготовленных из углеродистой стали Ст.3, выполнялась на ОАО «Электроаппарат» (г. Курск). Полученные результаты сравнивались с результатами проверок геометрической точности станков по ГОСТ 18097-93 [10] и ГОСТ 17734-88 [11]. Расхождение между ними составило не более 6% (табл.).

При обработке тестовых деталей было получено экспериментальное подтверждение вывода по результатам моделирования о том, что отклонения формы поверхностей (огранка и волнистость) обработанной детали, вследствие колебаний элементов станка при обработке, не оказывает влияние на точность значений диагноза.

В полном объеме апробация разработанных методов, моделей, алгоритмов и способа была выполнена на ОАО «Дальэнергомаш» (г. Хабаровск). На предприятиях было принято решение о внедрении специализированного программного обеспечения ООО НПП «СпецТек» TRIM-PMS (информационной системы ТОиР), поэтому для оценки выполненных разработок были использованы применяемые в данной системе показатели.

Результаты диагностики УТ16В по параметрам, мм(рад)

| Сечения | Параметры геометрической точности ТВС | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $\delta xy_0$ | $\alpha\beta_0$ | $\beta_1$ | $\sum_{i=1}^{3}\delta x_i$ |
| 1,3 | 0,0373 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0212 |
| 1,4 | 0,0362 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0224 |
| 1,8 | 0,0384 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0225 |
| 1,9 | 0,0384 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0216 |
| 1,10 | 0,0383 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0214 |
| 2,7 | 0,0363 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0217 |
| 2,8 | 0,0367 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0215 |
| 2,10 | 0,0366 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0222 |

Использование предложенных разработок позволило ОАО «Дальэнергомаш»:

- увеличить процентное соотношение периодических и непериодических работ от 67:33 до 81:19;
- снизить количество повреждений по технологической точности на 63%;
- повысить MTBF (наработка на отказ) на 11%.

**Список литературы**

1. Аникеева О.В. Функциональная диагностика металлорежущих станков // Известия Юго-Зап. гос. ун-та. 2011. № 5-1. С. 106-112.

2. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1986. 336 с.

3. Аникеева О.В., Афонин А.Н., Ивахненко А.Г. Автоматизация диагностирования и прогнозирования состояния металлорежущих станков на промышленных предприятиях // Известия Юго-Зап. гос. ун-та. 2012. № 1. Ч.1. С. 103-107.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011613642 (11.05.11) / Аникеева О.В., Ивахненко А.Г. Диагностика токарно-винторезного станка при обработке цилиндрических, торцовых и винтовых поверхностей.

5. Аникеева О.В. Диагностика вертикально-фрезерного станка при обработке закрытого шпоночного паза / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011615190, дата регистрации 01.07.2011г.

6. Аникеева О.В. Прогнозирование состояния токарно-винторезного станка / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012614958, дата регистрации 01.06.2012г.

7. Аникеева О.В. Прогнозирование состояния вертикально-фрезерного станка / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012614959, дата регистрации 01.06.2012г.

8. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.

9. Якобсон М.О. Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. М.: Машиностроение, 1967. 592с.

10. ГОСТ 18097-93. Станки токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. Нормы точности. М., 1993.

11. ГОСТ 17734-88. Станки фрезерные консольные. Нормы точности и жесткости. М., 1988.

*Получено 28.05.12*

**O.V. Anikeeva,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: olesya-anikeeva@yandex.ru)

**A.G. Ivakhnenko,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(tel. (4712)32-61-00)

**V.V. Kuts,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)
(tel. (4712)32-61-00)

**QUALITY MANAGEMENT OF A REPAIR PROCESS PLANNING STAGE OF METAL-CUTTING MACHINE TOOLS**

*A model of a repair process planning stage of metal-cutting machine tools is offered including sub processes: of a technical state diagnosis, of a technical state prediction and of a choice and strategy acceptance of a machine tool repair. A mathematical model of an optimization of recoverable machine tools precision geometrical parameters values by a repair is developed.*

***Key words:*** *planning stage, repair, metal-cutting machine tool, precision geometrical parameters, overhaul period.*

УДК 621.855

**С.А. Сергеев,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: ssa-cib@yandex.ru)

**Т.В. Дмитракова,** начальник отдела менеджмента качества, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: 21ntv@rambler.ru)

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ, МОНТАЖУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦЕПНЫХ МУФТ

*Даны рекомендации по изготовлению, монтажу и эксплуатации цепных муфт.*
***Ключевые слова:*** *цепная муфта, цепная передача, дисбаланс, стабилизация.*

***

Конструктивно полумуфты подобны звездочкам цепных передач. Различия в конструкции полумуфт обусловлены типом муфты и применяемой в ней цепи, а также способом соединения с валами.

Для полумуфт используют конструкционные и легированные стали; поковки из стали 40 и 45 (по ГОСТ 1050-88) или 40Х и 40ХН (по ГОСТ 4543-71); при диаметрах валов более 80 мм – сталь 40Л и 45Л (по ГОСТ 977-88).

При окружной скорости более 5 м/с твердость зубчатого венца должна быть не менее HRC 40, при скорости менее 5 м/с и в редко работающих муфтах твердость зубьев не менее НВ 280 [1].

Полумуфты изготовляют также из малоуглеродистых сталей (например, стали 20Х по ГОСТ 4543-71). Зубчатые венцы после химико-термической обработки должны иметь твердость не менее HRC 55.

Звездочки высоконагруженных муфт могут выполняться из высоколегированных сталей с последующей упрочняющей обработкой до твердости не менее HRC 50.

Кожух выполняют разъемным в осевой или торцовой плоскости. Для фланцевого соединения половин кожуха применяют болты по ГОСТ 7817-80 с посадкой $H7/j_s6$; при центрировании половин кожуха между собой по цилиндрической поверхности – болты по ГОСТ 7796-70.

Кожухи, как правило, изготовляют литыми из легких сплавов. Для подвижных муфт применяют кожухи из малоуглеродистых сталей 15 и 20 по ГОСТ 1050-88.

Уплотнения, используемые в муфте, должны препятствовать вытеканию смазки из муфты и попаданию внутрь влаги и пыли. Наиболее простым является уплотняющее устройство. В качестве уплотняющего элемента использовано кольцо круглого сечения. Возможно также применение уплотняющего устрой-ства с манжетами [2]. Кольца и манжеты изготовляют из синтетической резины, противостоящей действию низких (до –55°С) и высоких (до +85°С) температур и обладающей маслостойкостью.

Технология изготовления полумуфт подобна технологии изготовления звездочек цепных передач. Данные о нормах точности полумуфт, используемых с роликовыми цепями, приведены [3].

Параметр шероховатости поверхностей зубьев по окружности вершин и боковым поверхностям не должен превышать Ra 6,3 мкм, рабочих поверхностей – Ra 3,2 мкм.

Особенности изготовления звездочек муфты цепной повышенной компенсирующей способности (МЦПКС) – шарниры цепи в муфте должны находиться в зацеплении лишь с зубьями одного и того же секторов. Поэтому после нарезания зубьев углубляют впадины между ними в местах последующего удаления части венцов (рис. 1). При разметке секторов полумуфт следует обеспечить компенсационный зазор e между ними после сборки муфты, причем этот зазор выбирают в зависимости от предполагаемого смещения $\Delta$ осей соединяемых валов и ожидаемого в процессе эксплуатации увеличения шага $\Delta P$ цепи вследствие износа и упругих перемещений $e > 2(\Delta + \Delta P)$.

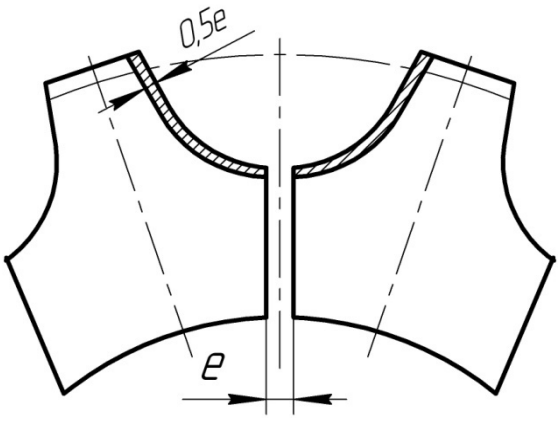



Рис. 1. Схема дополнительной обработки МЦПКС при zc ≥2

Цепные муфты, используемые при окружных скоростях более 10 м/с, должны быть отбалансированы с целью устранения или максимально возможного уменьшения неуравновешенности (дисбаланса).

Под неуравновешенностью D изделия понимают произведение его массы G и смещения $\Delta$ центра масс от оси вращения;

$$D = \frac{G\Delta}{10}, \qquad (1)$$

где D, г·см; G, кг; $\Delta$, мкм.

Различают статическую и динамическую неуравновешенность [1]. Статическая неуравновешенность обнаруживается при установке изделия опорными шейками на ролики (призмы), а динамическая – только при вращении изделия.

При вращении неуравновешенного изделия на него будут действовать в общем случае главный вектор центробежных сил, приложенный в центре масс, и главный момент сил инерции. Это обусловливает вредное влияние неуравновешенности на детали привода, вызывая повышение уровня вибрации и шума, дополнительные нагрузки и снижение ресурса.

Для уравновешивания вращающегося изделия необходимо, чтобы его центр масс лежал на оси вращения и центробежные моменты инерции были равны нулю, т. е. одна из главных центральных осей инерции должна совпадать с осью вращения, а для этого следует добавлять к изделию или удалять с него определенную массу. В связи с этим неуравновешенность можно оценивать произведением массы груза, который добавляют или удаляют с изделия для его уравновешивания, и радиуса, на котором этот груз должен быть помещен, т. е.

$$D = G_1 r, \qquad (2)$$

где $G_1$ – масса груза, г; r – радиус его расположения, см.

Неуравновешенность относят к выбранным плоскостям исправления, поскольку при выборе других плоскостей исправления эта величина изменяет.

С учетом (1) и (2)

$$\Delta = \frac{10D}{G} = \frac{10G_1 r}{G}. \qquad (3)$$

Эту относительную величину используют для сравнительной оценки неуравновешенности различных деталей:

$$\Delta \le [\Delta], \qquad (4)$$

где $[\Delta]$ – допустимое значение относительной неуравновешенности.

Проверка (4) позволяет систематизировать различные изделия по степени неуравновешенности.

За критерии необходимой точности балансировки могут быть приняты допустимый уровень вибрации и шума, долговечность подшипников и т. п.

В общем машиностроении при отсутствии особых требований к спокойному ходу машины величину $[\Delta]$ устанавливают такой, чтобы ускорение при колебаниях не превышало 0,1 g (g – ускорение силы тяжести). Если приближенно принять соотношение масс вращающихся и неподвижных деталей 1:1, то

$$[\Delta] = \frac{2 \cdot 10^8}{n^2}, \qquad (5)$$

где n – частота вращения, мин$^{-1}$.

В тех случаях, когда $n \triangleright n_{кр}$, $[\Delta]$ назначают из условия ограничения амплитуды колебаний опор, корпуса и т. п.

Для изделий, вращающихся на подшипниках качения, $[\Delta]$ выбирают из условия обеспечения требуемого срока службы подшипников;

$$[\Delta] = \frac{2,5 \cdot 10^3 C}{G\sqrt[3]{n^7 L_h}},$$

где $C$ – динамическая грузоподъемность подшипника.

***Пример.*** Определить допустимую неуравновешенность цепной муфты МЦПВ при отсутствии особых требований к спокойному ходу машины. Масса муфты G=85 кг, частота вращения $n$=3000 мин$^{-1}$.

$$[\Delta] = \frac{2 \cdot 10^7}{n^2} = 170 \text{г} \cdot \text{см}.$$

Для цепных муфт существуют три основные причины неуравновешенности: первая – неточность изготовления отдельных деталей; вторая – наличие незакрепленной («плавающей») детали – цепи; третья – несоосность деталей из-за неточности монтажа.

Неуравновешенность, вызванная наличием радиальных зазоров в соединении цепь – звездочка, не может быть устранена балансировкой. Она определяется как произведение массы цепи и радиального зазора. Поэтому естественным стремлением будет устранение причины неуравновешенности: исключение зазоров закреплением цепи. На рис. 2 показан один из возможных способов закрепления цепи 1 на звездочках 2 и 3 с помощью упругих колец 4 и 5 [4].

Не устраняя рассматриваемой причины неуравновешенности, можно уменьшить неуравновешенность за счет повышения точности нарезания зубьев полумуфт с целью сведения зазоров до допустимого минимума. Однако в процессе эксплуатации цепь удлиняется вследствие износа элементов шарниров, причем наибольшая интенсивность изнашивания наблюдается в начальный период работы (этап приработки). Интенсивность изнашивания можно стабилизировать, практически исключив приработку путем предварительной обтяжки цепи [4].

Рассмотренные способы уменьшения дисбаланса повышают стоимость изготовления цепных муфт и могут быть рекомендованы только при использовании этих муфт в быстроходном приводе.

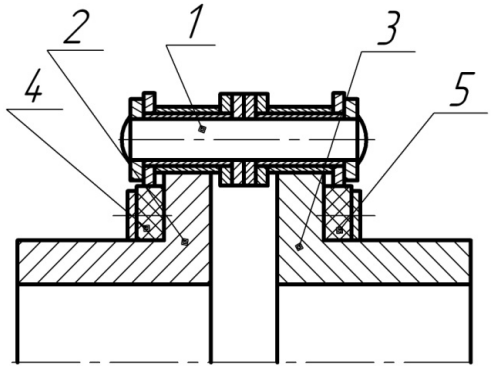



Рис. 2. Схема закрепления цепи на полумуфтах

Динамическую балансировку цепных муфт проводят на специальных станках, например, на станках фирмы «Шенк», имеющих высокую производительность и предназначенных для работы в серийном производстве [1].

Конструктивно-технологические мероприятия по уравновешиванию муфт сводятся к следующему: у муфт, подвергаемых динамической балансировке, уже при конструировании должна быть заложена возможность быстрого и точного уравновешивания. Поскольку масса муфт сравнительно небольшая (до 100 кг), уравновешивание рекомендуется выполнять удалением части металла. Плоскости исправления, в которых удаляют металл, следует выбирать достаточно далеко друг от друга, что облегчает настройку и работу на стенке за счет снижения взаимовлияния масс удаляемого металла в одной плоскости на другую.

С помощью балансировочного станка автоматически определяют количество снимаемого металла в выбранных плоскостях исправления, причем для цепных муфт целесообразно удалять металл в двух плоскостях исправления – со ступиц обеих полумуфт. При балансировке муфт металл удаляют ручными шлифовальными кругами, если начальная неуравновешенность незначительна. Этот способ не позволяет точно определять количество снимаемого металла, поэтому операцию баланси-

ровки повторяют несколько раз (до 3-4 раз на одну плоскость исправления).

Точность балансировки муфт обусловлена прежде всего скоростью соединяемых ими валов: чем выше скорость, тем точнее должна быть балансировка.

Нормы неуравновешенности (дисбаланса) выбирают по ГОСТ 22061-76 (табл. 1).

При высокой точности балансировки необходима высокая точность изготовления деталей муфты и ее сборки. Если при установке муфты в привод не будет реализована эта точность, то теряется смысл в точной балансировке.

Для оценки точности балансировки на чертежах муфт приводят данные, относящиеся к муфтам с роликовыми и зубчатыми цепями, в зависимости от норм точности цепей и полумуфт, регламентированных соответствующими ГОСТами, массы муфты, частоты вращения и смещения осей соединяемых валов.

Муфты необходимо балансировать в собранном виде, а при монтаже следует обеспечить идентичность положения всех ее деталей.

**Монтаж узлов машинного агрегата, соединяемых цепными муфтами.** При монтаже узлов необходимо выполнить центрирование агрегата (рис. 3), т. е. обеспечить соосное положение соединяемых валов I и II с помощью подкладок (клиновых или плоских) под лапы этих узлов или регулировочных винтов. Следовательно, основная цель центрирования – привести в заданные пределы радиальные $\Delta$ (табл. 2) и угловые $\delta$ смещения осей валов.

Для центрирования агрегата применяют специальные приспособления (рис. 4), которые должны быть удобными в эксплуатации и обеспечивать требуемую точность монтажа, а контроль смещений осей валов осуществляют индикаторами стрелочного типа, комплектами щупов и оптическими приборами.

На рис. 4 в качестве примера показаны разъемные 1 и цельные 2 скобы, фиксируемые относительно полумуфт или на валах. При больших расстояниях между торцами валов (в случаях, когда используется муфта МЦПВ) скобы должны иметь соответствующие осевые размеры. Для измерения смещений осей валов используют индикаторы 3 или регулировочные винты 4 с закругленной головкой под щуп. При разъемных скобах необходимы стрелки 5, фиксирующие взаимное положение составных деталей приспособлений.

Таблица 1

Нормы дисбаланса (по ГОСТ 22061-76)

| Классы точности балансировки | $\Delta_{ст}\omega_{э max}$, мм · рад · с$^{-1}$ | Типы роторов |
|---|---|---|
| 6 | 40 | Ободья колес, бандажи, приводные валы, тормозные барабаны |
| 5 | 16 | Приводные валы (карданные валы и валы судовых винтов) со специальными требованиями |
| 5 | 16 | Части дробилок и сельхозмашин |
| 4 | 6,3 | Части технологического оборудования, барабаны центрифуг, вентиляторы |
| 4 | 6,3 | Маховики, крыльчатки центробежных насосов, части станков и машин общего назначения, роторы обычных электродвигателей |
| 3 | 2,5 | Приводы металлообрабатывающих станков, роторы небольших электродвигателей и средних и крупных электродвигателей со специальными требованиями |

Примечание – Точность балансировки оправки должна быть на один класс выше, чем балансируемой на ней детали

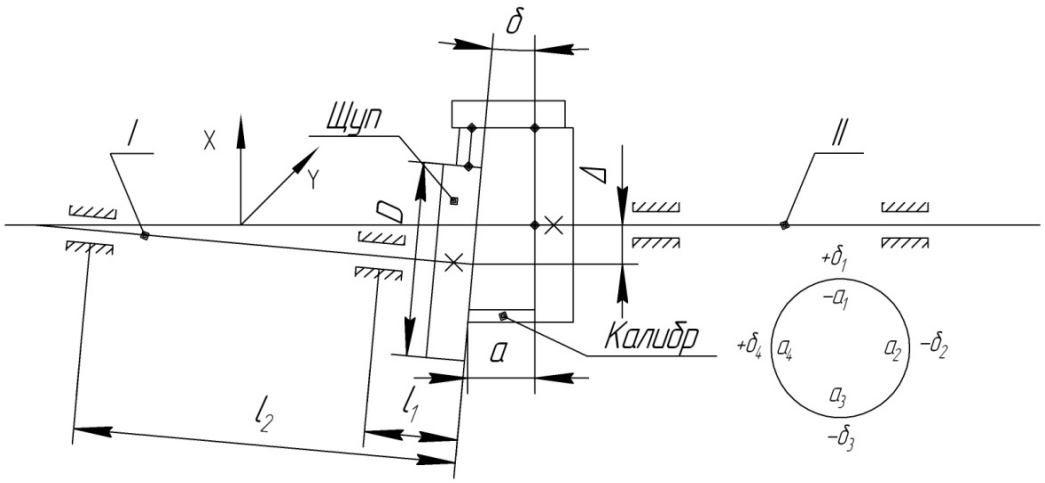



Рис. 3. Схема центрирования горизонтальных агрегатов по полумуфтам

Таблица 2

Допустимое радиальное смещение Δ осей валов при центрировании по полумуфтам, мм

| Частота вращения вала, $мин^{-1}$ | Муфта (диаметр менее 500 мм) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | жесткая | упругокольцевая | зубчатая | цепная |
| 0 – 500 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,40 |
| 500 – 750 | 0,08 | 0,10 | 0,15 | 0,30 |
| 750 – 1500 | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,24 |
| 1500 – 3000 | 0,04 | 0,06 | 0,10 | 0,20 |
| 3000 и более | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,08 |

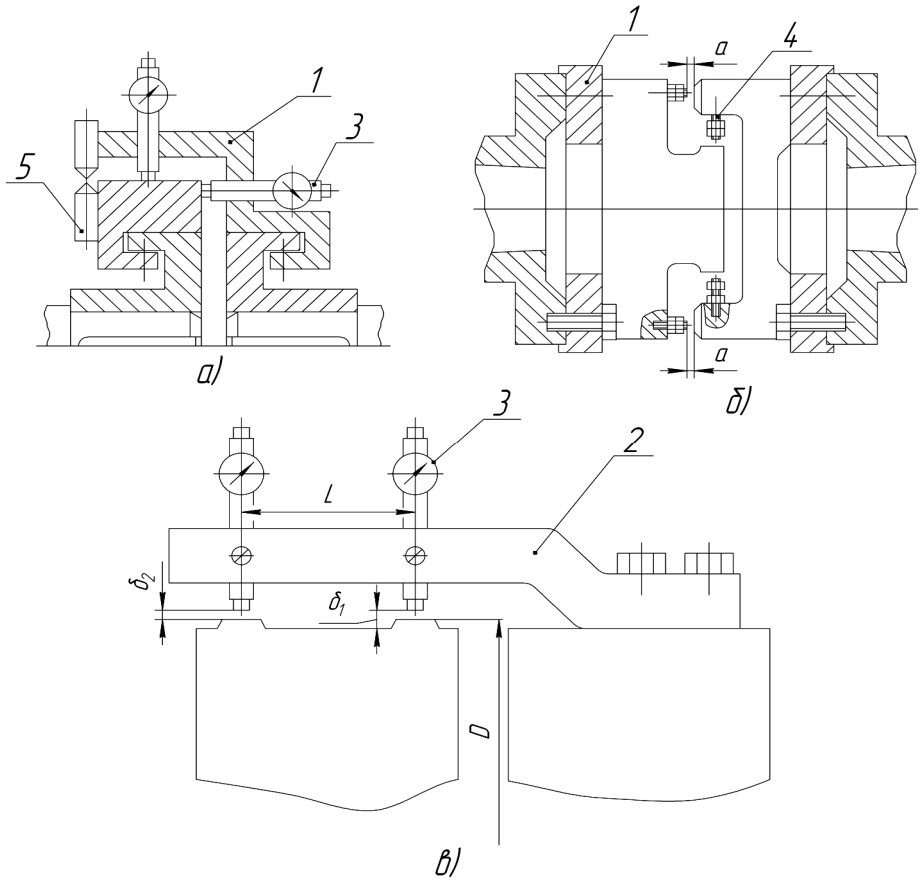



Рис. 4. Приспособления для крепления агрегатов разъемными (а, б) и цельными (в) скобами

Перед началом центрирования выполняют:

– проверку состояния полумуфт и подшипников узлов агрегата; места предполагаемого соприкосновения инструмента с полумуфтами зачищают шкуркой до блеска;

–подготовку требуемого инструмента и приспособления;

–подготовку в регистрационном журнале схемы замеров или бланка формуляра центрирования (если таковой оговаривается технической документацией);

–измерение диаметра D полумуфт и расстояний $l_1$, $l_2$ от их торца до середины переднего и заднего подшипников (или до центров болтов передних и задних опорных лап) машины (см. рис. 3).

Небольшие по мощности агрегаты, имеющие частоту вращения не более 1000 мин $^{-1}$, центрируют по полумуфтам без проворота валов. Смещение осей валов определяют с помощью линейки, устанавливаемой на цилиндрической поверхности одной из полумуфт, и комплекта щупов. При этом для исключения влияния неточности изготовления полумуфт на определяемое смещение необходимо замерить торцовое и радиальное биения, а также разность диаметров их соответствующих поверхностей.

Более точный монтаж узлов осуществляют с использованием методов измерения смещений при совместном повороте валов на 360° с помощью, например, скоб и индикаторов. Возможны два способа замеров: первый – одновременно измеряют торцовые и радиальные зазоры (см. рис. 4, а, б); второй – измеряют лишь радиальные зазоры в двух диаметральных плоскостях (см. рис. 4, в), причем расстояние L между этими плоскостями должно быть как можно больше.

Полумуфты следует проворачивать синхронно в направлении рабочего вращения валов. Перед замером выполняют контрольный проворот роторов, чтобы убедиться в отсутствии заедания деталей (индикаторов) центровочного приспособления. При совместном проворачивании роторов в случае использования разъемной скобы измеряют торцовые a и радиальные b (см. рис. 4, б) зазоры между соответствующими поверхностями в диаметральных плоскостях (для четырех положений строго через 90°), и результаты замеров (или показания индикаторов) заносят на схему (см. рис. 3). Тогда угловые смещения в вертикальной и горизонтальной плоскостях:

$$\delta_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{|a_1 - a_3|}{d_и}\right);$$

$$\delta_2 = \operatorname{arctg}\left(\frac{|a_2 - a_4|}{d_и}\right),$$

а радиальные в этих же плоскостях

$$\Delta_1 = 0,5|b_1 + b_3|;$$

$$\Delta_2 = 0,5|b_2 + b_4|,$$

где $a_1$, $a_2$, $a_3$, $a_4$ – торцовые зазоры в соответствующих точках; $d_и$ – диаметр окружности, по которой проводят замер $b_1$, $b_2$, $b_3$, $b_4$ – радиальные зазоры в точках замера.

Зная $\delta_1, \delta_2$ и $\Delta_1$, $\Delta_2$ можно определить смещения:

$$\delta_\Sigma = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2};$$

$$\Delta_\Sigma = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2},$$

которые сравнивают с нормируемыми значениями (табл. 2). При необходимости производят подцентровку, причем в зависимости от конструкции и структуры агрегата за базовое звено при подцентрировании может быть принят электродвигатель, редуктор или рабочий орган машины.

Взаимное расположение узлов работающего агрегата может отличаться от расположения, заданного им при центрировании во время монтажа. Причины, вызывающие расцентровку агрегата: температурные перемещения корпусных деталей, всплытие вала на масляной пленке в подшипниках скольжения, самоцентровка вала под действием центробежных сил и т. п.

Расцентровка, вызываемая температурным расширением, например корпуса подшипников, оценивается по радиальным и угловым смещениям:

$$\Delta_t = \Delta h_2 + \frac{\left(\left|\Delta h_1 - \Delta h_2\right|\right)\left(l + l_1\right)}{l};$$

$$\delta_t = \operatorname{arctg}\frac{\left(\left|\Delta h_1 - \Delta h_2\right|\right)}{l},$$

где $\Delta h_1$, и $\Delta h_2$ – изменение высоты центров соответственно первого и второго подшипников, обусловленное температурным расширением; l – расстояние между серединами подшипников; $l_1$ – расстояние от торца полумуфты до середины ближайшего подшипника. Изменение высоты центров i-го подшипника:

$$\Delta h_i = \alpha\left(t_{CTmi} - t_0\right) H_i \cdot 10^{-2}$$

где $\alpha$ – коэффициент линейного расширения; $t_{CTmi}$ – средняя температура стенки i-го подшипника; $t_0$ – температура в помещении; $H_i$ – высота центров i-го подшипника.

Если в качестве опор валов, соединяемых муфтой, используют подшипники скольжения, то всплытие валов на масляной пленке будет являться одной из причин расцентровки агрегата. Особенно существенной может быть расцентровка валов с разными размерами опорных поверхностей, поскольку в этом случае будет различное всплытие вала в опорах, которое зависит от окружной скорости $v$ ($v = 0{,}5\omega d$, где $\omega$ – угловая скорость; $d$ – диаметр вала); вязкости масла (его марки и температуры); давления $p$ в подшипнике ($p = F/dl$, где $F$ – действующая на опору радиальная сила; $l$ – длина вкладышей или втулки подшипника); зазора в соединении; состояния рабочей поверхности вкладышей и вала.

На рис. 5 даны кривые зависимости толщины масляной пленки $h_м$ (вертикального и горизонтального всплытия) от значений давления и диаметра опорной поверхности вала $d_в$ при частоте вращения $n$=3000 мин$^{-1}$ и для масла марки И12А ГОСТ 20799-88. Для пересчета всплытия вала при частоте, отличающей от указанной, можно принять, что зависимость $h_м$ от n прямо пропорциональная.

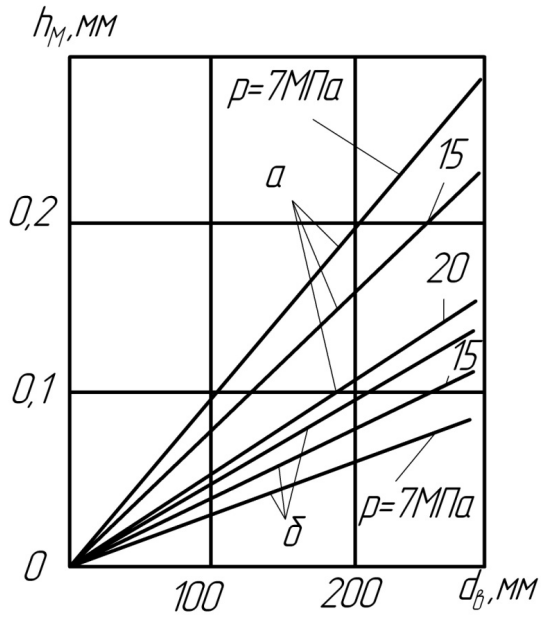



Рис. 5. Зависимость толщины масляного слоя от удельного давления и диаметра вала: а и б – горизонтальное перемещение оси вала

**Смазывание муфт.** Поверхности деталей муфт, участвующие в скольжении или качении, с целью уменьшения потерь на трение и снижения интенсивности изнашивания необходимо смазывать и предохранять от попадания абразивных частиц.

Для смазывания муфт рекомендуется масло цилиндровое 52 (вапор) по ГОСТ 6411-76 с добавлением 1-2% олеиновой кислоты по ГОСТ 7580-91 или 5 % сухих коллоидно-графитовых препаратов из искусственного графита марки С2; для загустения смазки добавляют 30-50 % (по объему) стеарита кальция. Уровень масла не должен превышать уплотнительное кольцо.

Смену масла проводят не реже одного раза в 3-4 месяца с предварительной промывкой керосином внутренней поверхности муфты и цепи.

Муфты при частоте вращения до 600 мин$^{-1}$ допускается применять без кожуха [2]. Для смазывания цепей таких муфт используют пластичный смазочный материал, который помещают внутрь шарниров. Смазку осуществляют периодическим (через 100-150 ч/работы) погружением цепи в смазочный материал,

предварительно нагретый до температуры, обеспечивающей его разжижение.

При частоте вращения до 500 мин-1 и в редко работающих муфтах допустимо периодическое смазывание (через каждые 6-8 ч/работы) с помощью ручной масленки.

Возможна эксплуатация муфт и без смазочных материалов, но лишь при условии использования специальных цепей, трущиеся поверхности которых покрыты самосмазывающимися антифрикционными материалами.

**Список литературы**

1. Сергеев С.А. Цепные муфты: анализ и синтез: монография. Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2010. 398 с

2. Тарабасов Н.Д., Учаев П.Н. Цепные муфты // Проектирование, изготовление и эксплуатация: справочник. М.: Машиностроение, 1987. 256 с.

3. Сергеев С.А., Червяков Л.М., Емельянов И.П. Методология проектирования цепных муфт: монография. *LAP LAMBERT Academic Publishing*. Серия "Современное машиностроение". Saarbrücken, Germany, 2011. 325 с.

4. Пат. №105384 Российская Федерация, МПК F16D3/54. Цепная муфта / Сергеев С.А., Москалёв Д.В., Дмитракова Т.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет». №2010149369; заявл. 02.12.2010; опубл. 10. 06.2011 Бюл. №16.

*Получено 14.06.12*

**S.A. Sergeev,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: ssa-cib@yandex.ru)

**T.V. Dmitrakova,** Head of Quality Management Department, Southwest State University (Kursk) (e-mail: 21ntv@rambler.ru)

**GUIDELINES FOR THE CONSTRUCTION, INSTALLATION AND OPERATION OF CHAIN COUPLING**

*The paper gives recommendations on production, installation and operation of chain couplings.*

***Key words:*** *chain coupling, chain drive, imbalance, stabilization.*

---

УДК 621.715.2

**В.Н. Кассихин,** ст. преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: lusgsh@yandex.ru)

**А.О. Гладышкин,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: gladfilat@yandex.ru)

**М.С. Разумов,** канд. техн. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: mika_1984_@mail.ru)

**С.А. Чевычелов,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tschsa@yandex.ru)

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПРОФИЛЯ КОЛЕС ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИИ**

*В статье рассматривается последовательность механической обработки изношенных колесных пар. Полученная технология учитывает характер износа колесных пар и условия их эксплуатации.*

***Ключевые слова****: колесная пара, фреза, технология обработки.*

***

В разработке технологии восстановления рабочего профиля колесных пар рельсовых средств без демонтажа изделий условно можно выделить три этапа: диагностический, рабочий и контрольно-заключительный.

Диагностический этап включает в себя:

– Диагностику колесных пар рельсового транспортного средства на предмет соответствия размеров и качества поверхностного слоя материалов нормативным требованиям.

– Анализ возможности восстановления эксплуатационных характеристик колесных пар без демонтажа изделия.

– Принятие решения о способе изготовления колесных пар.

– Построение топограммы износа всего комплекта колесных пар.

– Ввод в ЭВМ исходных данных для расчета рабочего профиля вставных пластин, корпусов, оснастки.

– Расчет профиля вставных пластин, проверка базовых элементов корпусов, совместимости с инструментом, технологической оснасткой.

– Расчет технологических режимов обработки спроектированной фрезой.

Рабочий этап:

– Изготовление рабочего профиля сменных твердосплавных пластин для сборной фрезы.

– Доработку посадочных мест корпусов фрезы (при необходимости).

– Доработку и изготовление технологической оснастки.

– Сборку фрезы.

– Контроль и испытание фрезы и технологической оснастки.

– Монтаж инструмента и оснастки на станок.

– Контроль качества монтажа.

– Установку технологических режимов обработки.

– Обработку первого колеса колесной пары.

– Контроль результатов обработки первого колеса и корректировка (при необходимости) режимов обработки.

– Обработку комплекта колесных пар.

Контрольно-заключительный этап:

– Диагностику колесных пар на соответствие их геометрии и поверхностного слоя нормативным требованиям.

– Диагностику фрезы на предмет ее износа и технического состояния элементов.

– Принятие решения о необходимости переточки фрезы.

– Ввод данных о состоянии фрезы и характеристиках восстановленных колесных пар в базу (банк) данных.

– Анализ возможности дальнейшего использования фрезы.

– Сбор сведений о работоспособности восстановленных колесных пар.

Алгоритм построения технологического процесса приведен на рисунке 1.

Трудоемкость восстановления колесных пар (рис. 2; позиция 2), возрастает относительно базовой величины (1), характеризующей изготовление, установку и наладку новой колесной пары на рельсовом транспортном средстве.

Действительно, предлагаемая технология по анализу трудоемкости позволит значительно сократить затраты на восстановление геометрии колесных пар железнодорожного транспорта.

*Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».*

**Список литературы**

1. Барботько А.И., Гладышкин А.О. Основы теории математического моделирования: учебное пособие. Ст. Оскол: ООО «ТНТ», 2008. 212 с.

2. Емельянов С.Г., Чевычелов С.А., Гладышкин А.О. САПР корпусов фрез для восстановления профиля колесных пар // Вестник машиностроения, 2007. №11. С. 51-52.

3. Емельянов С.Г., Чевычелов С.А., Гладышкин А.О. Особенности фрезерования колес железнодорожного транспорта // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. мат. IV междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. Курск, 2006. С.204-205.

4. Емельянов С.Г., Чевычелов С.А., Гладышкин А.О. Исследование методов восстановления геометрического профиля рабочей поверхности головки железнодорожных рельсов посредством механической обработки // Технологические системы в машиностроении: тр. междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти выдающихся ученых Коганова И.А. и Лашнева С.И. Тула, 2002. С. 157-158.

*Получено 09.07.12*

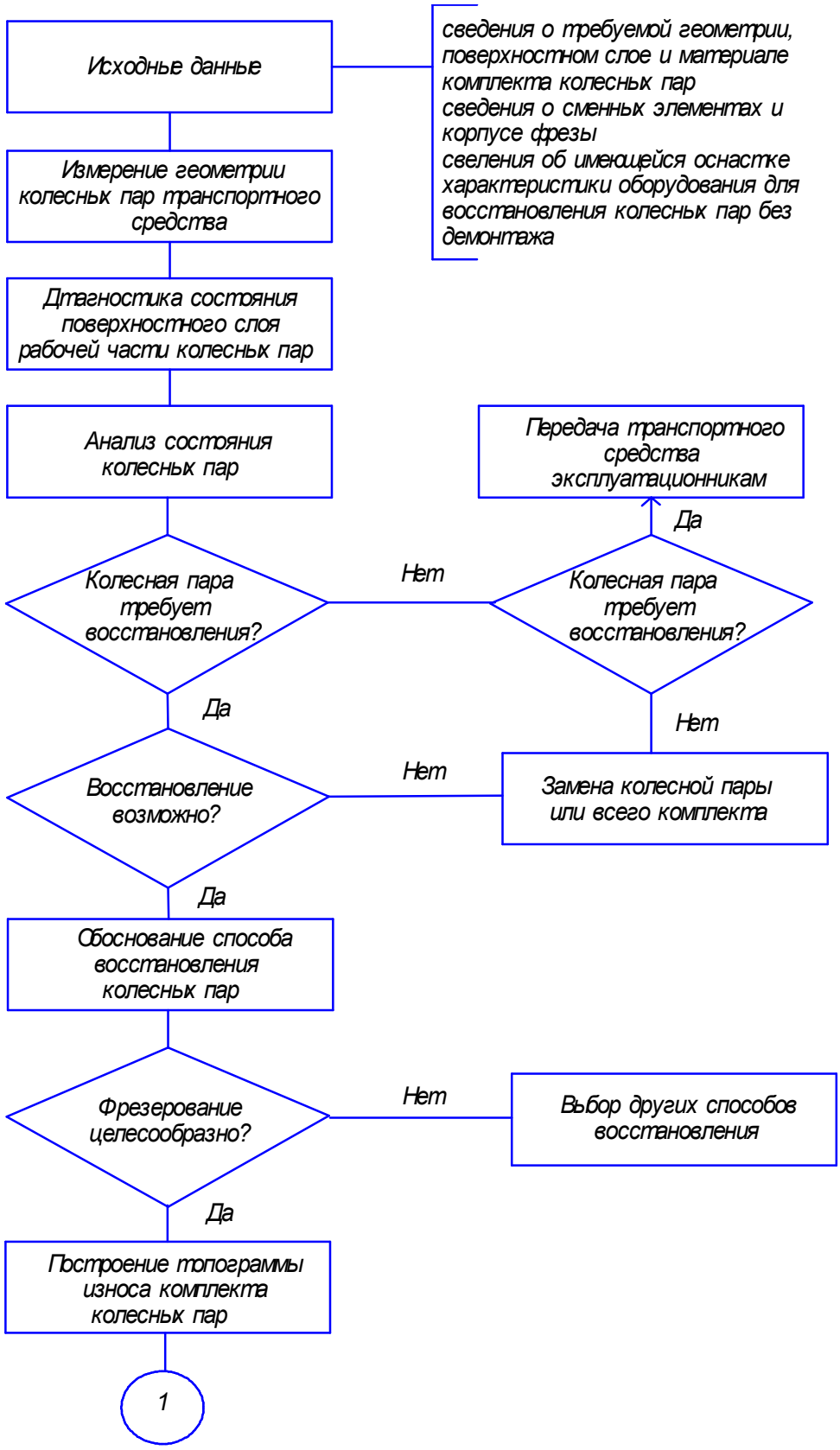



Рис. 1. Проектирование средств технологического оснащения и технологии восстановления колесных пар рельсового транспорта без демонтажа изделий (продолжение и окончание см. на с. 137-139)

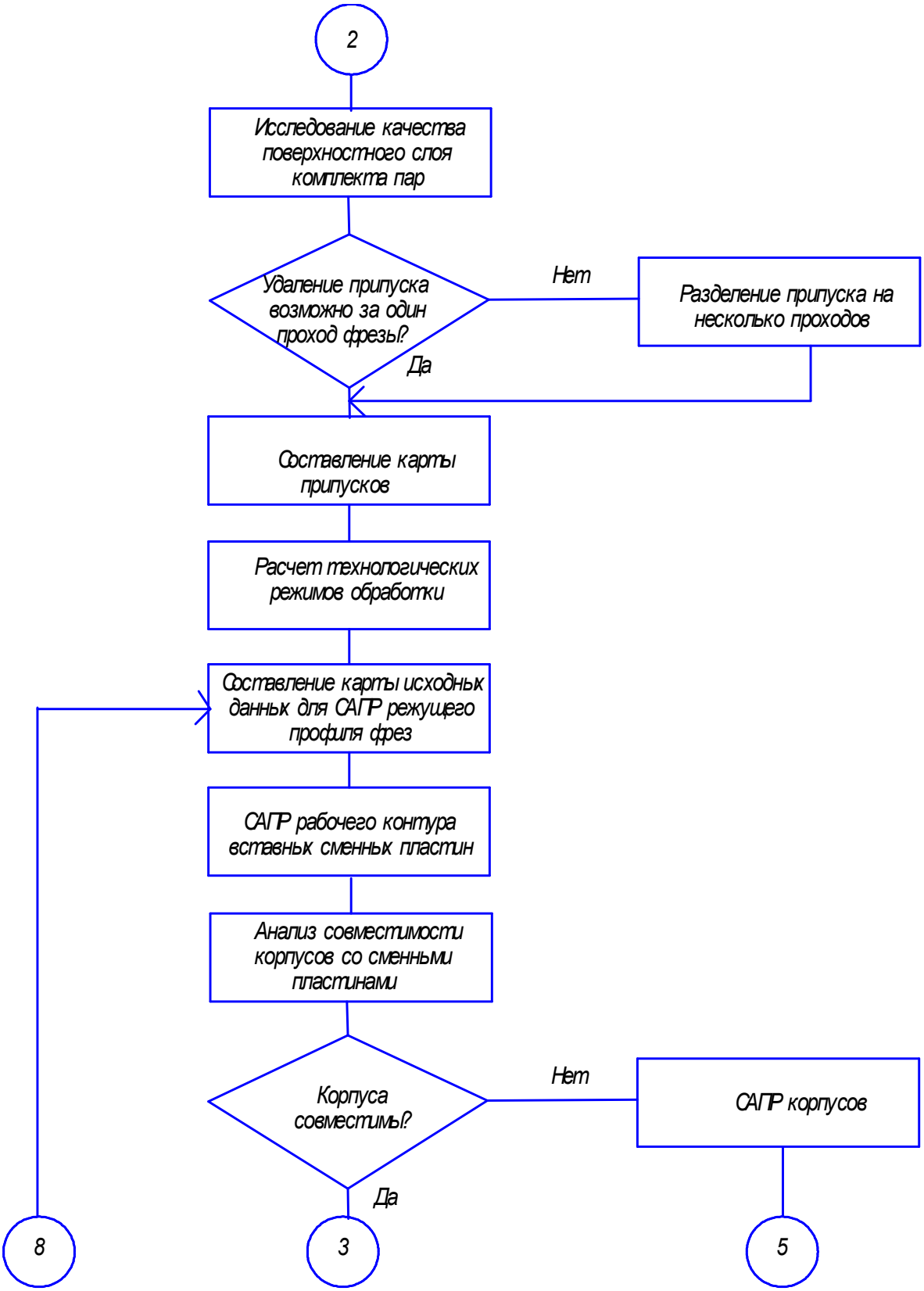



Рис. 1. Продолжение (начало см. на с. 136, окончание - на с. 139)

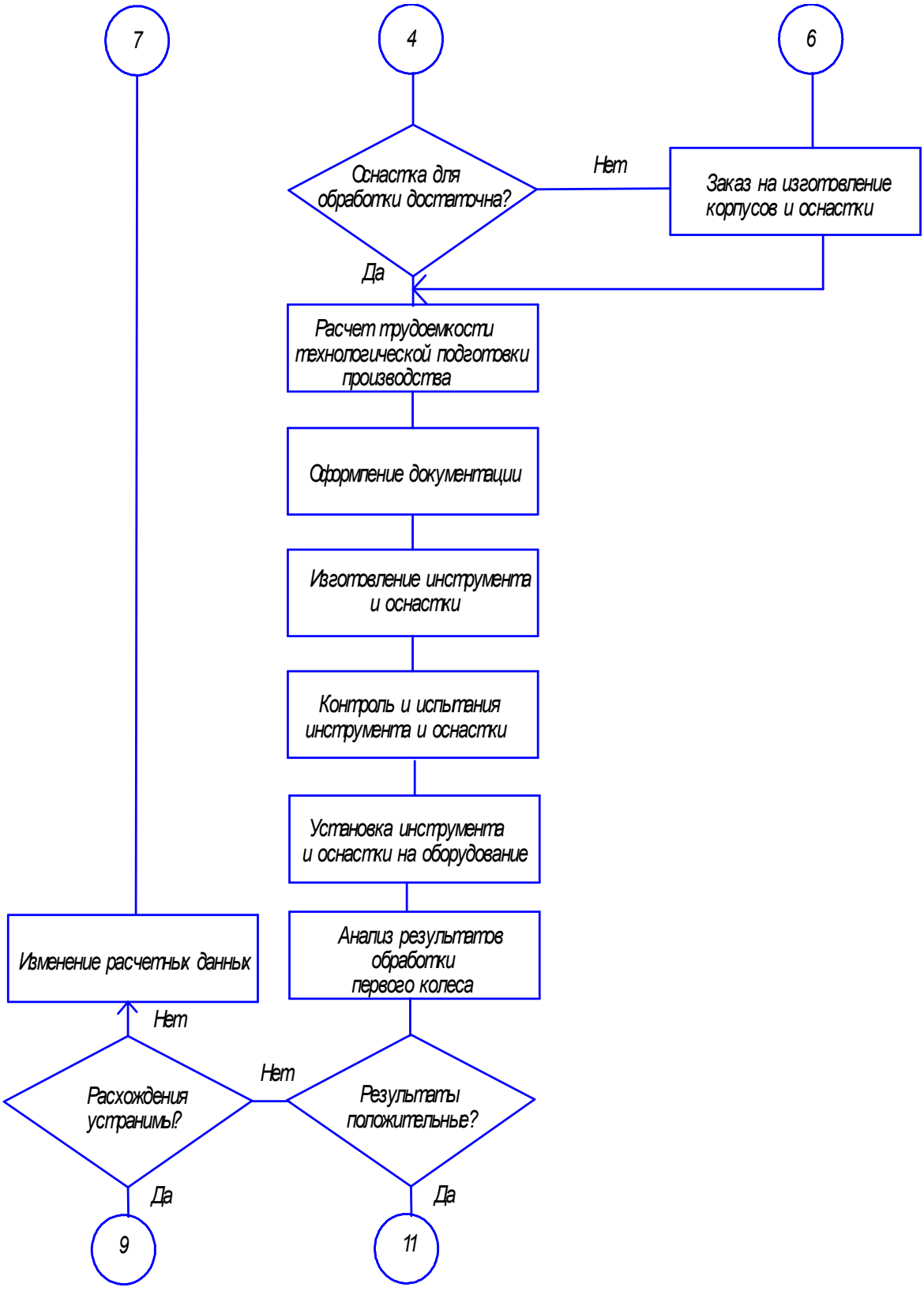



Рис. 1. Продолжение (начало см. на с. 136, окончание - на с. 139)

Рис. 1. Окончание (начало см. на стр. 136-138)

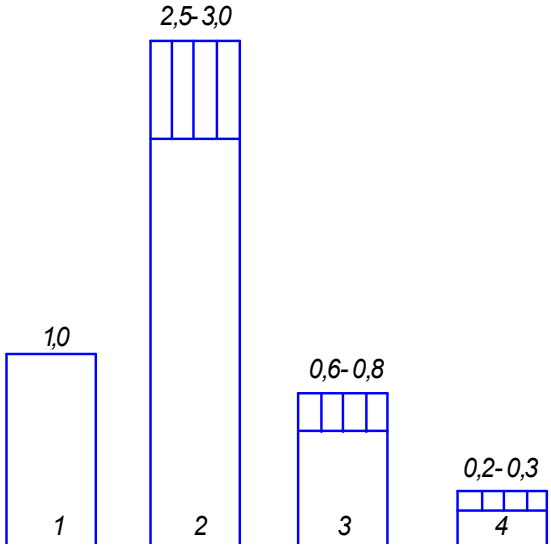



Рис. 2. Трудоемкость восстановления колесных пар (относительно трудоемкости изготовления новой колесной пары): 1 – трудоемкость (базовая) изготовления колесной пары; 2 – восстановление колесных пар переборкой; 3 – существующая технология восстановления без индивидуального подхода; 4 – предлагаемая технология

**V.N. Kassihin,** Candidate of Sciences, Senior Lecturer**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: lusgsh@yandex.ru)

**A.O. Gladyshkin,** Candidate of Sciences, Senior Lecturer**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: gladfilat@yandex.ru)

**M.S. Razumov,** Candidate of Sciences, Senior Lecturer**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: mika_1984_@mail.ru)

**S.A. Chevychelov,** Candidate of Sciences, Senior Lecturer**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: tschsa@yandex.ru)

**DEVELOPMENT OF CUTTING TECHNOLOGY RAIL WHEELS DURING RECOVERY**

*The article describes the mechanical cutting of worn wheel sets. The resulting technology allows wear pattern wheels and to their operation.*

***Key words**: wheelset, the mill, processing technology.*

---

УДК. 669.187.56: 621.745.45.

**С.Н. Жеребцов,** канд. техн. наук, ЗАО «Омский завод специальных изделий»

**Д.А. Чумак-Жунь,** НИТУ МИСиС (Москва)

**Н.А. Пугачева,** Министерство образования и науки Российской Федерации

**Л.М. Червяков,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: chlm@mail.ru)

**ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ 12Х18Н10Т МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЛИТЬЯ**

*Проведен теоретический анализ и практические результаты условий повышения стабильности химического состава стали при электрошлаковом переплаве расходуемого электрода с применением многокомпонентных систем флюсов, с дифференцированным их раскислением по ходу плавки и одновременным долегированием металла титаном. Приведены результаты исследования физико-механических свойств отливки из стали 12Х18Н10Т при различных температурах испытания.*

***Ключевые слова:** легированные стали, многокомпонентные системы флюсов, электрошлаковый переплав.*

***

В настоящее время объемы выпуска отливок из легированных сталей объясняются увеличением потребности отрасли в этих сталях и повышением требований к качеству выпускаемых машин и аппаратов, где широко используются ответственные литые детали, работающие в условиях постоянного воздействия агрессивных сред, высоких давлений и температур.

Применение технологии электрошлакового литья (ЭШЛ) при изготовлении трубопроводной арматуры высокого давления позволяет существенно упростить технологию их производства за счет полного исключения кузнечно-прессовых работ, уменьшения объема механической обработки, сборки и сварки. Данная технология нашла применение при изготовлении элементов сосудов высокого давления (обечаек, днищ, патрубков, фланцев) из низко- и среднелегированных сталей [1].

Вместе с тем для некоторых отраслей новой техники требуются толстостенные сосуды из высоколегированной аустенитной стали, в частности для нефтехимической и газовой промышленности, криогенной техники и др. Изготовление таких сосудов методом ЭШЛ имеет ряд особенностей, связанных, прежде всего, с необходимостью обеспечения в литых заготовках строго заданного химического состава, от которого зависят такие важные служебные характеристики металла, как высокие прочностные и пластические свойства в условиях высоких и низких, в том числе криогенных, температур.

Нержавеющие стали, стабилизированные титаном, типа 12Х18Н10Т и др. известны давно и широко используются в различных агрессивных средах как наиболее коррозионностойкий материал. Однако производство сложных по конструкции и ответственных по назначению (высокая герметичность и коррозионная стойкость) отливок из нержавеющих сталей связано со значительными трудностями, главным образом из-за высокой склонности этих сталей к пленообразованию, снижающему жидкотекучесть металла и плотность отливок. Кроме того, нержавеющие стали имеют более повышенную объемную усадку по сравнению с углеродистой сталью. В связи с этим для получения плотных отливок масса прибыли, например для стали 12Х18Н10Т, должна быть на 30—50% больше, чем для углеродистой стали. Указанные факторы существенно снижают выход годных отливок из нержавеющих сталей, увеличивают расход дорогостоящих и дефицитных легирующих металлов, особенно хрома, никеля, а так же электроэнергии на плавку и в целом повышают трудоемкость изготовления и себестоимость продукции.

Одной из важных задач при ЭШЛ заготовок из аустенитной хромоникелевой стали 12Х1810Т является обеспечение в металле необходимой концентрации титана, который вводится в сталь как стабилизирующий элемент для устранения склонности ее к межкристаллитной коррозии (МКК). Требуемое содержание (%) титана в аустенитной стали, зависит от содержания в ней углерода и выбирается из следующего условия: Ti = (C-0,02)-0,8, где С - содержание углерода в стали, %. Обычно содержание титана в стали, 12Х18Н10Т находится в пределах 0,4-0,8%.

Главная трудность при переплаве титансодержащих сталей заключается в интенсивном окислении титана в процессе электрошлакового переплава и в накоплении необходимого количества жидкого металла в плавильных ёмкостях. Самое непосредственное влияние на окисление титана в переплавляемой стали оказывает атмосфера воздуха в плавильном пространстве и состав применяемого флюса. Существенное влияние на окисление титана оказывает наличие кремнезема в шлаке, содержание которого даже в однокомпонентном галоидном флюсе может доходить до 2,0-3,0 %. [2]

С учетом отмеченных закономерностей электрошлакового плавления титаносодержащих аустенитных сталей разработан большой арсенал средств и технологических приемов, направленных на то, чтобы исключить или существенно уменьшить окислительные возможности атмосферы воздуха и шлака.

Наиболее эффективным для этой цели считается применение безкислородного флюса марки АНФ-1, защищающий металлическую ванны от поступления кислорода из окружающей среды и раскисление шлака по ходу переплава расходуемого электрода. Флюс марки АНФ-1, состоящий из чистого фтористого кальция, имеет наименьшую окислительную способность по отношению к титану. Вместе с тем этот флюс обладает высокой способностью растворять водяные пары- гидроксил ОН , которые, как известно, являются источником кислорода. Поэтому при ЭШП с использованием флюса АНФ-1 необходимо принимать специальные меры для защиты шлаковой ванны от возможного попадания влаги в плавильное пространство.

Проведены исследования электрошлакового переплава сталей, легированных титаном, с применением защитных углеродсодержащих брикетов (порошков), плавающих на поверхности шлаковой ванны. Установлено, что графитовый или угольный порошок раскисляет шлак, создает восстановительную атмосферу, механически перекрывает доступ кислорода к поверхности шлаковой ванны, что в целом значительно снижа-

ет окисление титана. При этом науглероживание металла практически не наблюдается.

Наиболее широко применяемым средством борьбы с окислением титана в стали является раскисление шлака, как при его выплавке в флюсоплавильных агрегатов, так и в процессе электрошлакового переплава расходуемого электрода.

При проведении данных исследований отмечены некоторые особенности процесса электрошлакового переплава, обусловливающие неравномерность химического состава металла по объёму слитка [3]. Раскисление флюса алюминиевым порошком позволяет значительно увеличить степень усвоения компонентов исходного металла и повысить равномерность их распределения по объёму слитка. Одно из достоинств раскисления флюса алюминием состоит и в том, что оно позволяет корректировать химический состав металла при электрошлаковом переплаве путем алюмотермического восстановления компонентов из их окислов. Равновесная активность (допустимая остаточная концентрация) алюминия в металле обеспечивается введением в шлак оптимального количества алюминиевого порошка. Недостаточное или чрезмерное его введение приводит к окислению или восстановлению легирующего элемента металла в отдельные периоды плавки, вызывая неравномерность химического состава металла по объёму слитка.

При равномерном раскислении шлака алюминиевым порошком значительно уменьшается угар титана, хотя стабильность концентрации титана и алюминия не достигается. В результате дифференцированного ввода алюминиевого порошка получили равномерное содержания титана и алюминия в объеме слитка, а также значительного снижения угара этих элементов.

Установлено, что оптимальным вариантом технологии ЭШЛ аустенитной стали типа Х18Н10Т, позволяющим добиться стабильности химического состава при литье, является введение во флюс до 10-20 % $TiO_2$ и дифференцированное раскислением шлака алюминиевым порошком в количестве 8-10 кг/т в начальный период и уменьшением этого количества в конце плавки до 3—5 кг/т. Алюминиевый порошок может так же вводиться по ходу переплава в смеси с TiO2.

Заготовки фланцев по ГОСТ12821-80 выплавляли на установках электрошлакового литья. В качестве расходуемых электродов использовали отходы сортового проката диаметром 50—100 мм. Качественный литой металл получается в процессе электрошлакового литья за счет переплава расходуемого электрода в системе синтетических флюсов, представляющих собой смесь: $CaF_2$; $Al_2O_3$, MgO, CaO, $TiO_2$ и т.д.; которые осуществляют рафинирование и очистку жидкого металла в гарнисажной плавильной емкости от таких примесей как фосфор и сера, а также обеспечивает защиту металла от вредного воздействия окружающей среды и сохранят заданный химический состав переплавляемого металла, так как не дает выгорать на воздухе легирующим элементам: C, Cr, Ni, Si, Mn входящий в состав металла расходуемого электрода в процессе плавки. Жидкий флюс ( шлак ) является надежной защитой жидкого металла на протяжении всего процесса переплава, накопления и заливки металла в литейную форму [2, 3].

Положительные результаты по уменьшению угара в стали таких элементов, как титан получены при электрошлаковом переплаве с использованием многокомпонентных систем флюсов. Переплав производили под флюсами типа АНФ-1, АНФ-6, АНФ-25, АНФ-29 указан в таблице 1 и под опытными флюсами. Флюсы прокаливали в печи при температуре 800°С в течение 40 минут для удаления влаги.

Таблица 1

Химический состав флюсов, используемый для электрошлаковых переплавов стали 12Х18Н10Т, массовая доля элементов, %

| Марка флюса | Кальция фторида | Алюминия оксида | Кальция оксида | Магния оксида | Кремния оксид | Углерода | Железа оксид | Серы | Фосфора | Титана |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Не более | | | | |
| АНФ-1 | Не более 90 | Не более 3 | Не более 5 | - | Не более 25 | 0,10 | 0,5 | 0,05 | 0,02 | 0,05 |
| АНФ-6 | Основа | 25…31 | Не более 8 | - | Не более 2,5 | 0,10 | 0,5 | 0,05 | 0,02 | 0,05 |
| АНФ-25 | 50…60 | 12…20 | 10…15 | 10…15 | 2…7 | 0,10 | 0,5 | 0,07 | 0,03 | - |
| АНФ-29 | 37…45 | 13…17 | 24…30 | 2…6 | 11…15 | 0,10 | 0,5 | 0,06 | 0,03 | - |

На ряде плавок флюс в процессе переплава раскисляли алюминием в количестве 3,0—4,0 кг/т. Кроме того, в нескольких случаях во флюс вводили $TiO_2$ до 10-12 %, а металл в процессе электрошлакового переплава долегировали титаном путем дозированного ввода ферротитана марок ТИВ-1, предварительно измельченного до фракции 1-3мм. Химический состав ферротитана ТИВ-1 следующий: C-0.11 %, Ti-70.0 %, Al-3.0 %, Mo-0.5 %, V-0.7 %, остальное железо.

При переплаве под чистым $CaF_2$+10% $TiO_2$ и флюсом типа АНФ-25 с пониженным содержанием $SiO_2$- до 2.5 % и 10 % $TiO_2$ с раскисление шлака по ходу переплава алюминием в количестве 3 кг/т и одновременным вводом ферротитана в количестве 10 кг/т удается обеспечить содержание титана в стали 12Х18Н10Т в заданных пределах химического анализа установленного по ГОСТ5632-72, указан в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав, % стали марки 12Х18Н10Т, полученной различными способами производства

| Объект исследования | C | Mn | Si | Cr | Ni | Ti | S | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72 | ≤ 0,12 | ≤ 2,00 | ≤ 0,8 | 17,0-19,0 | 9,0-11,0 | ≤ 0,8 | ≤ 0,020 | ≤ 0,035 |
| ТУ 26-0157-14-96 | ≤ 0,12 | 10-20 | ≤ 0,8 | 17,0-19,0 | 9,0-11,0 | ≤ 0,8 | ≤ 0,020 | ≤ 0,035 |
| 12Х18Н10Т Поковка фланца Ду 200 Ру 10,0 МПа | 0,11 | 1,45 | 0,62 | 18,3 | 10,4 | 0,64 | 0,015 | 0,022 |
| 12Х18Н10ТШ ЦЭШЛ, фланца Ду 200 Ру 10,0 МПа | 0,12 | 1,51 | 0,57 | 18,5 | 10,5 | 0,62 | 0,012 | 0,016 |
| 12Х18Н10ТШ ВИП, фланца Ду 200 Ру 10,0 МПа | 0,12 | 0,62 | 0,55 | 18,3 | 10,7 | 0,68 | 0,011 | 0,017 |

Особенностями электрошлакового переплава являются: повышение температуры шлаковой 2050-2400°С и металлической ванн 1750-1970°С, а также при ЭШП без раскисления флюса возрастание концентрации окислов $Me_xOy$ в шлаке по мере накопления жидкого металла в плавильной ёмкости. Эти особенности обусловливают уменьшение окисления активных компонентов по мере переплава расходуемого электрода. Повышение равномерности химического состава, с этой точки зрения, возможно при дифференцированном воздействии на шлаковую ванну в соответствии с изменением характера протекания процессов окисления (восстановления) легирующих компонентов в жидком металле [3, 4].

Следует, однако, отметить то важное обстоятельство, что образцы для механических испытаний вырезали из литой заготовки натурных размеров, подвергнутой окончательной термической обработке в производственных условиях. Механические свойства электрошлаковых отливок определяли в соответствии с ГОСТ 497-84 и ГОСТ 9652-84 на одной пробе от партии заготовок. Ударную вязкость определяли на образцах типа Ị по ГОСТ 9454-78. Поэтому полученные результаты испытаний наиболее достоверно отражают качество заготовок электрошлакового литья, предназначенных для изготовления сосудов высокого давления, указанны в таблице 3.

Таблица 3

Механические свойства стали марки 12Х18Н10Т, полученной различными способами производства

| Объект исследования | Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа | Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$, МПа | Относительное удлинение, $\delta_5$ % | Относительное сужение $\psi$, % | Ударная вязкость KCU, Дж/мм$^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 12Х18Н10Т Поковки сечение 500мм ГОСТ 25054-81 | ≤ 196 | ≤ 510 | ≤ 35 | ≤ 40 | ≤ 245 |
| ТУ 26-0157-14-96 | ≤ 200 | ≤ 500 | ≤ 35 | ≤ 40 | ≤ 70 |
| 12Х18Н10ТЛ Поковка фланца Ду 200 Ру 10,0 МПа | 290-330<br>310 | 540-556<br>548 | 37-41<br>39 | 42-46<br>44 | 314-340<br>327 |
| 12Х18Н10ТШ ЦЭШЛ, фланца Ду 200 Ру 10,0 МПа | 350-370<br>360 | 562-586<br>574 | 43-49<br>46 | 54-60<br>57 | 392-410<br>401 |
| 12Х18Н10ТШ ВИП, фланца Ду 200 Ру 10,0 МПа | 270-286<br>278 | 522-538<br>530 | 34-38<br>36 | 42-48<br>45 | 282-310<br>296 |

Достижение равномерной по объёму отливки концентрации легирующих элементов при электрошлаковом литье по опробованным вариантам технологии возможно при условии дифференцирования режимов раскисления алюминиевым порошком или смесью алюминия с соответствующими окислами. Оптимальным вариантом технологии электрошлакового литья нержавеющей стали с корректировкой содержанием титана является введение $TiO_2$ в исходный флюс в количестве до 10-20 % и дифференцированное раскислением шлака алюминиевым порошком в количестве 8,0-10,0 кг/т – в начальный период плавки и в вводом ферротитана в количестве 10 кг/т, соответственно 3,0-5,0 кг/т алюминиевого порошка – до конца плавки.

Электрошлаковый металл отличается от металла, полученного традиционными способами производства, мелкозернистой структурой, большей химической однородностью, отсутствием инородных окисных включений, воздушных пузырей, пор, раковин, трещин, низким содержанием вредных примесей серы и фосфора, равномерно распределенной плотностью металла по всему объему, а, следовательно, и изотропностью физико-механических свойств по всем направлениям. Свойства электрошлакового металла удовлетворяют требованиям: ТУ 26-0157-24-69, ГОСТ 25054-81, что позволяет использовать литые электрошлаковые заготовки в замен поковок.

Химический анализ, механические испытания и испытания на межкристаллитную коррозию показали, что электрошлаковый металл значительно превосходит металл, полученный другими способами, практически по всем показателям, что подтверждает целесообразность применения данного способа получения заготовок для деталей элементов арматуры энергетических установок, криогенной техники, химической и нефтехимической аппаратуры, изделий ответственного назначения, подведомственных Госгортехнадзору.

**Список литературы.**

1. Патон Б.Е., Медовар Б.И. Бойко Г.А. Электрошлаковое литьё. Киев: Наукова думка, 1980. 192 с.

2. Жеребцов С.Н. Технологические параметры и физико-химические свойства флюсов // Омский научный вестник. 2004. №1(26). С. 78-80

3. Жеребцов С.Н. Использование технологии электрошлакового переплава для получения изделий ответственного назначения // Прикладные задачи механики: сб. науч. тр. ОмГТУ. Омск, 2003. С. 44-47.

4. Жеребцов С.Н. Применение нано материалов и высокотемпературной обработки никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новокузнецк, 2006. 22 с.

*Получено 16.07.12*

**S.N. Zherebtcov,** Candidate of Sciences, Omsk plant of special products ltd

**D.A. Chumak-Zhun,** NITU MISIS (Moscow)

**N.A. Pugatcheva,** Ministry of Education and Science of the Russian Federation

**L.N. Chervyakov,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)

**RECEIVING FROM STEEL 12X18H10T THE METHOD OF ELECTROSLAG MOULDING**

*The theoretical analysis and practical results of conditions of increase of stability of a chemical composition is carried out became at electroslag переплаве a spent electrode, with application of multicomponent systems of gumboils, with differentiated their raskisleniye on a course of melting and a simultaneous dolegirovaniye of metal the titan. Results of research of physicomechanical properties of casting from steel 12X18H10T are given at various temperatures of test.*

***Key words:*** *alloyed became, multicomponent systems of gumboils.*

# Строительство

УДК 621.56/57

**Е. В. Умеренков,** преподаватель**,** Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**Э.В. Котенко,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

## ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОЖУХОТРУБНОГО АККУМУЛЯТОРА ТЕПЛА НА ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ НА ОСНОВЕ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

*Предложена методика теплового расчета фазопереходного аккумулятора теплоты (ФПАТ) кожухотрубного типа, с использованием квазистационарной модели его теплового состояния [6] . Разработанный аппарат позволяет проектировать ФПАТ с заданными конструктивными и технологическими параметрами , при заданной минимальной температуре теплоносителя на выходе из аккумулятора и желаемом времени разрядки и известных теплофизических характеристиках теплоносителя и теплоаккумулирующего материала (ТАМа), включая температуру фазового перехода, что иллюстрируется конкретным примером теплового расчета ФПАТ.*

***Ключевые слова:*** *теплота, теплоаккумулирующий материал, фазовый переход, тепловой аккумулятор.*

***

Несмотря на разнообразные попытки технологического усовершенствования, наиболее распространенным типом аккумуляторов теплоты являются кожухотрубные аппараты, реализующие пассивный способ теплообмена между теплоносителем и ТАМом. Предполагается, что рабочее тело заполняет межтрубное пространство, а подвод (отвод) теплоты осуществляется от теплоносителя (к хладоагенту) через твердую поверхность теплообмена, выполненную, например, в виде пучка вертикально расположенных теплообменных трубок.

Проектирование таких устройств предполагает предварительное определение массы (объема) теплоаккумулирующего материала M, площади поверхности теплообмена F и ряда других параметров.

Тепловой расчет аппарата, с целью определения M,F и других сопутствующих характеристик возможен при наличии взаимосвязи вышеперечисленных величин, т.е. математической модели, описывающей тепловое состояние устройства. Как уже указывалось, точное описание весьма затруднительно. Необходимо использование упрощенных подходов, учитывающих, однако, основные особенности рассматриваемого процесса, в частности его нестационарность. В работе [5] предложена оценка выходной температуры теплоносителя (при разрядке накопителя), основанная на допущении о квазистационарности теплового состояния ФПАТ, в виде двумерной пластины. Подход, предложенный в [5], в работе [6] распространен на случай цилиндрической геометрии, что наиболее приближено к реальным аккумуляторам кожухотрубного типа. Разработанный аппарат, позволяет разработать методику теплового расчета, конкретное содержание которого зависит от варианта постановки задачи, набора исходных данных и желаемого результата.

### Методика теплового расчета ФПАТ

Наиболее типичным вариантом теплового расчета аккумулятора тепла является определение массы фазопереходного теплоаккумулирующего материала (ТАМа), поверхности нагрева и соответствующих конструктивных параметров устройства при заданной минимальной температуре теплоносителя на выходе из аккумулятора $t_{2min}$ и желаемом времени разрядки $\tau_p \geq \tau_{min}$. Известными при этом являются также расход охлаждающей жидкости G, её входная температура $t_1$, а также теплофизические характеристики теплоносителя и ТАМа, включая температуру фазового перехода $T_ф$.

Наличие расхода охлаждающего теплоносителя позволяет оценить площадь поперечного сечения трубок $f_{тр}$. Приняв диаметр трубки по сортаменту , определяем необходимое количество трубок и, соответственно, теплоаккумулирующих ячеек ФПАТа. Это , в свою очередь, позволяет найти число Фурье $Fo_p$ для времени разрядки $\tau_p$ и рассчитать относительную выходную температуру $\theta_{2min}$. Поскольку величины $\theta_{2min}$ и $Fo_p$ могут быть интерпретированы как параметры, соответствующие окончанию процесса затвердевания ТАМа (минимальная температура теплоносителя, максимальная продолжительность), то для них , используя модель, предлагаемую в [6], и полагая $m_r$=1, после промежуточных преобразований получим

$$\theta_{2\min} = 1 - \exp\left[ -\frac{\tilde{\omega} \cdot K_\rho}{\left(r_2^2 - 1\right) \cdot \ln r_2} \right] = \varphi\left(r_2, \omega\right) \quad (1)$$

и

$$F_{Op} = \frac{r_2^2 - 1}{4} + \frac{\tilde{\omega} \cdot K_\rho}{2} \int_0^1 \frac{dm}{1 - e^{-\Phi(m)}} - \frac{\tilde{\omega}}{2 \cdot \left(r_2^2 - 1\right)} \int_0^1 \frac{1 - m \cdot \left(1 - K\rho\right)}{m \cdot \Phi\left(m\right)} dm - \frac{r_2^2 - 1}{4} \int_0^1 F\left(m\right) dm = \psi\left(r_2, \tilde{\omega}\right), \quad (2)$$

где

$$\Phi(m_т) = \frac{2 \times \omega \times (r_2 - 1) \times [1 - m_т \times (1 - K_\rho)]}{\ln[1 + p(m_т)]};$$

$$p(m_т) = \frac{m_т \times K_\rho \times (r_2^2 - 1)}{1 - m_т \times (1 - K_\rho)};$$

$$F(m_т) = \frac{2 \times \omega \times (r_2 - 1)}{\ln[1 + p(m_т)]} \times \left\{ (1 - K_\rho) + \frac{K_\rho \times (r_2^2 - 1)}{[1 + m_т \times (K_\rho \times r_2^2 - 1)] \times \ln[1 + p(m_т)]} \right\} \times$$

$$\times \left\{ 1 - \frac{\ln[1 + p(m_т)]}{m_т \times (r_2^2 - 1)} \right\} \times \frac{\exp[-\Phi(m_т)] \times m_т}{[1 - \exp[-\Phi(m_т)]} + \left\{ \frac{K_\rho}{[1 - m_т \times (1 - K_\rho)] \times [1 + m_т \times (K_\rho \times r_2^2 - 1)]} - \frac{\ln[1 + p(m_т)]}{m_т \times (r_2^2 - 1)} \right\}$$

Постоянные, фигурирующие в (1-2) :

$\Theta_{2\min} = \frac{t_2 - t_1}{T_ф - t_1}$ - относительная выходная температура теплоносителя;

$$\tilde{\omega} = \frac{2 \cdot \lambda_т \cdot M_т}{c \cdot G \cdot \rho_т \cdot R_1^2} \quad (3)$$

режимный параметр единичной ячейки аккумулятора;

$r_2 = R_2/R_1$ – ее относительный радиус, где за базу принимается радиус $R_1$ трубки, по которой прокачивается теплоноситель (хладогент) с массовым расходом G и теплоемкостью c;

$K_\rho = \rho_ж/\rho_т$ - относительная плотность жидкой фазы ТАМа, где $\rho_т$ – плотность твердой фазы. Аналогичными индексами («ж» и «Т» отмечены также теплоемкости c и коэффициенты теплопроводности $\lambda$ фаз;

$Ko = \frac{r}{c_т \cdot (T_Ф - t_1)}$ - критерий Коссовича [7], равный отношению скрытой теплоты плавления (затвердевания) r к теплоемкостному охлаждению ТАМа от температуры фазового перехода $T_ф$ до входной (в канал) температуры теплоносителя $t_1$.

Следует пояснить также, что под $m_т$ понимается масса твердой фазы ТАМа $M_т$ , относительная к его суммарной массе M, т.е. $m_Т = M_Т/M$ , а в качестве независимой переменной (числа Фурье) - $F_{OT} = \frac{\tau \times \lambda_т}{c_т \times \rho_т \times (R_2 - R_1)^2}$, где $\tau$ – текущее время, отсчитываемое от момента, в который $m_Т = 0$.

При известных $\Theta_{2\min}$ и $Fo_p$ (1) и (2) образуют систему уравнений относительно $r_2$ и $\tilde{\omega}$. Однако использование (2) из-за наличия интегрирования (подинтегральные функции также содержат искомые параметры) затруднительно. Значительно упростит поставленную задачу апроксимации $\psi(r_2, \tilde{\omega})$ некоторой функцией с аргументами $r_2$ и $\tilde{\omega}$ в явном виде, что может быть сделано на основе теории планирования эксперимента . В этой связи, необходимо определить некую функцию $\tilde{\psi}(r_2, \tilde{\omega})$ (по терминологии теории эксперимента – поверхности отклика), расчет по которой дает значения $Fo_p$, совпадающие (с достаточной степени точностью, например, 5%) с результатами численного эксперимента. Как правило, такая функция отыскивается в виде полинома 2-ой степени:

$$\tilde{\psi} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2, \quad (4)$$

содержащем шесть подлежащих определению коэффициентов.

Для применения полиномиальной модели поверхности отклика необходимо наличие в определенных точках плана значений $Fo_p$. Поскольку в данном случае речь идет об определении безразмерного времени при $m_т$=1 , получим необходимые значения путем численного интегрирования (2) методом трапеций.

Результаты, полученные в результате численного интегрирования, представлены на рис.1 и визуально подтверждают предположение о зависимости $\tilde{F}o_p(r_2,x)$ в виде многочлена 2-ой степени (сумма квадратичной и линейной форм и свободного члена [5]), коэффициенты которого подлежат определению.

Очевидно также наличие существенно более значимой зависимости $\tilde{F}o_p$ от радиуса $r_2$, нежели от режимного параметра $\tilde{\omega}$. Влияние $\tilde{\omega}$ в большей степени сказывается при $r_2$ ,близких к 1, а также для режимных параметров, превышающих 1 (при любых радиусах ячейки).

Необходимо заметить, что значения $\psi_j$, а следовательно и полиномиальные коэффициенты, рассчитываются при параметрах $K_\rho$ и Ko модельного ТАМа. В случае другого теплоаккумулирующего материала необходима соответствующая коррекция поверхности отклика или её построение на основе планов 4-факторного эксперимента.

Наличие аппроксимирующей зависимости $\tilde{\psi}$ ($\tilde{\omega}$,$r_2$) позволяет решить систему (1-2), используя стандартный инструментарий, например, Mathcad, итерационным методом и выполнить расчет параметров $r_2$ и $\tilde{\omega}$.

В свою очередь, известные безразмерные параметры $\tilde{\omega}$ и $r_2$ , позволяют рассчитать массу ТАМа, заполняющего аккумулятор.

В расчете на одну ячейку (индекс «яч»), согласно (3), можем записать

$$M_{тяч} = \tilde{\omega}_{яч} \cdot c_в \cdot G_{яч} \cdot \rho_т \cdot R_1^2/2\lambda_т. \qquad (5)$$

Расход охлаждающей воды через одну теплообменную трубку (ячейку), имея в виду их параллельное соединение, равен

$$G_{яч} = G/n_{тр(яч)}. \qquad (6)$$

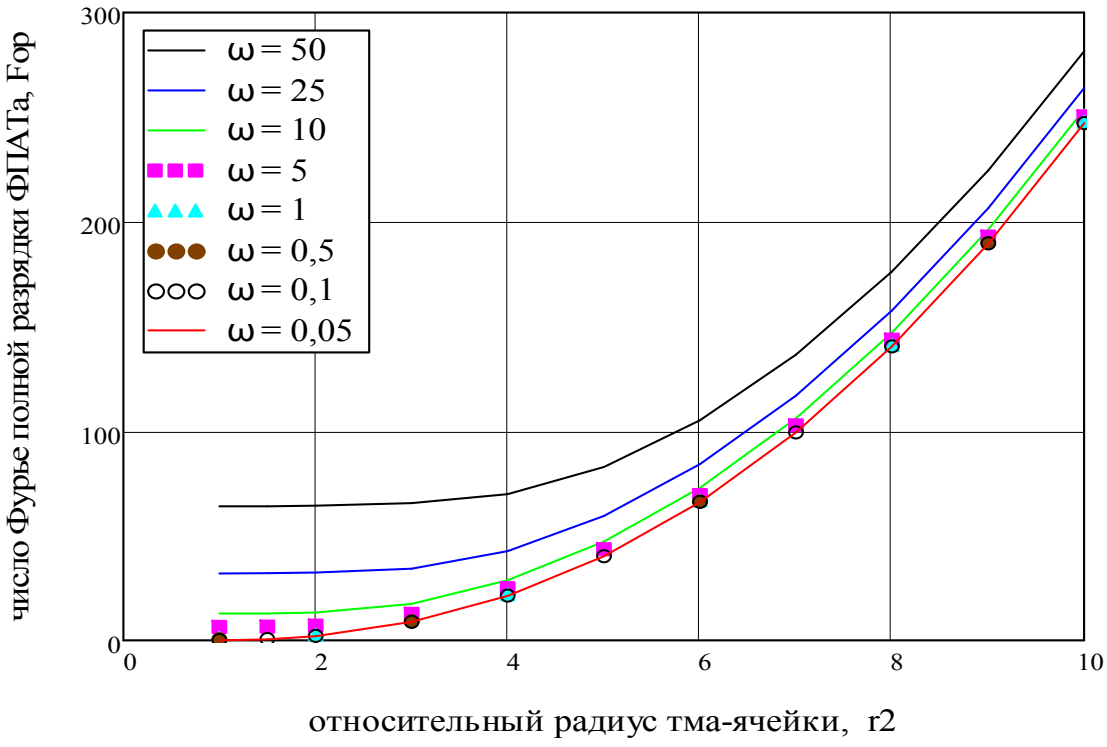



Рис. 4.1. «Экспериментальная» зависимость Fop от r2

Тогда суммарная масса ТАМа (в твердом состоянии)

$M_т = M_{тяч} \cdot n_{тр}$

или с учетом (5) и (6)

$M_т = \tilde{\omega}_{яч} \cdot c_в \cdot G \cdot \rho_т \cdot R_1^2 / 2\lambda_т$. (7)

Очевидно, что при заданном $R_1$, а следовательно, числе трубок $n_{тр}$ , задача расчета массы теплоаккумулирующего материала может считаться решенной.

**Пример теплового расчета ФПАТ**

Требуется определить основные параметры аккумулятора теплоты на фазовом переходе (рабочее тело - парафин), обеспечивающего получение (в процессе разрядки) нагретой воды, например, для коммунально-бытового потребления, с постоянным расходом G = 0,2 кг/с (примерно соответствует расходу воды через открытый водоразборный прибор типа смесителя ванной). Температуры нагреваемой воды: на входе в аккумулятор $t_1$ = 10 °С, на выходе (минимальная, в конце процесса разрядки) – $t_{2р}$ = 25°С; продолжительность разрядки $\tau_р$ - не менее 4-х часов.

$\Theta_р = (t_{2р} - t_1)/(T_ф - t_1) = (25-10)/(52-10) = 0{,}357$.

В соответствии с положениями методологии, рассмотренной выше, режимный параметр и относительный наружний радиус теплоаккумулирующей ячейки при вышеприведенных $\tilde{F}o_р$ и $\Theta_р$ равны $\tilde{\omega} = 33{,}99$ и $r_2 = 6{,}76$ соответственно. Тогда масса ТАМа в ячейке:

$M_{тяч} = \tilde{\omega} c_в G_{яч} \rho_т R_1^2 / 2\lambda_т =$

$= 33{,}99 \cdot 4180 \cdot 0{,}0054 \cdot 800 \times$

$\times 0{,}005^2 / 2 \cdot 0{,}34 \cong 22{,}6$ кг,

а высота (длина) ячеек

$H_0 = M_{тяч} / \pi \cdot R_1^2 \cdot (r_2^2 - 1) \cdot \rho_т = 22{,}6 / \pi \cdot 0{,}005^2 \cdot (6{,}76^2 - 1) \cdot 800 \cong 8{,}0$ м.

Практический интерес представляет также временная зависимость выходной температуры теплоносителя. На рис.2 показана $t_2(\tau)$, расчитанная по одному из алгоритмов, описанных в преды-дущих разделах.

Наличие $r_2$ и $R_1$ позволяет определить наружний радиус тма-ячеек, как $R_2 = R_1 \cdot r_2 = 5 \cdot 6{,}76 = 33{,}8$ мм, а также внутренний диаметр корпуса аккумулятора. Согласно (4.23) число ячеек, расположенных на главной диагонали упаковки (диаметре корпуса), равно m=7. Тогда диаметр корпуса $D = 7 \cdot 2 \cdot 33{,}8 = 473{,}2$ мм.

Общая полезная масса парафина (масса ТАМа ячеек) $M_т = 37 \cdot 22{,}6 = 836{,}2$ кг. При этом баластная часть, согласно (4.24), имеет массу $M_{бал} = 800 \cdot 8 \cdot \pi \cdot 0{,}0338^2 \cdot (7^2 - 37) \cong 275{,}6$ кг.

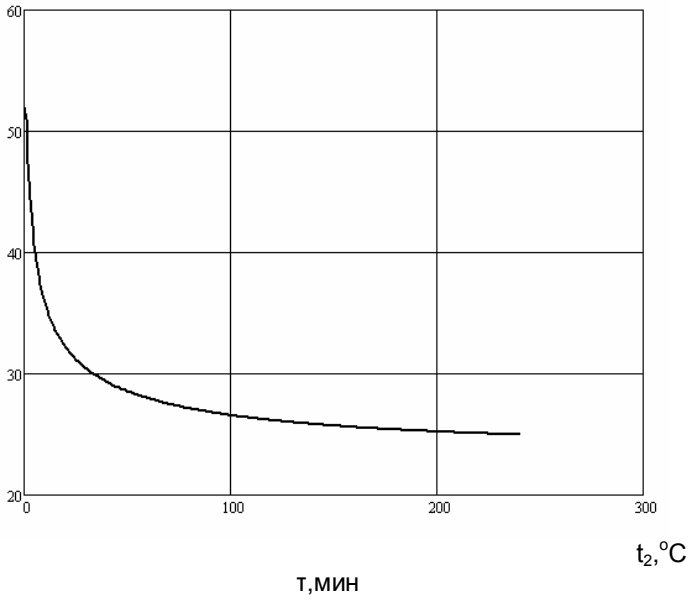



Рис.2. Зависимость выходной температуры теплоносителя $t_2$,°С от времени разрядки т, мин

Параметры аккумулятора, определенные по условиям охлаждения ТАМа, следует также проверить на соответствие зарядке АТ с использованием доступного оборудования. В частности, будем полагать, что нагрев теплоаккумулирующего материала (до температуры фазового перехода $T_ф$=52°С) осуществляется водой с температурой на входе в АТ (на выходе из источника теплоты) $t_1$=85°С. Время зарядки $\tau_з$ должно быть соизмеримо со временем $\tau_р$ (4÷5 часов). Относительную начальную температуру ТАМа принимаем равной $\theta_о$=0,97.

Итак, в соответствии с алгоритмом, рассмотренным в п.1 для $\theta_о$=0,97, $\tilde{\omega}$=33,99 и $r_2$=6,76 имеем $\tilde{F}o_з$=133,4, что в размерном виде соответствует 4,54 часа. Из полученных результатов следует, что зарядка ФПАТ при принятых параметрах происходит чуть дольше процесса охлаждения ТАМа. В данном случае нас это вполне устраивает, поэтому никаких дополнительных мер с целью сокращения $\tau_з$ предпринимать не требуется.

Таким образом, разработана методика теплового расчета фазопереходного аккумулятора тепла , позволяющая конструировать устройства подобного типа с заданными конструктивными и технологическими характеристиками при известных теплофизических характеристиках теплоносителя и ТАМа, включая температуру фазового перехода $T_ф$.

**Список литературы**

1. Будак Б.М., Васильев Ф.П., Успенский А.Б. Разностные методы решения некоторых краевых задач типа Стефана // Сборник ВЦ МГУ. Численные методы в газовой динамике. 1965. Т.4. С. 139-183.

2. Численное моделирование оптимального теплового аккумулятора на фазовом переходе / О.В. Дихтиевский, Г.В. Конюхов, О.Г. Мартыненко, И.Ф. Юревич // ИФЖ. 1991. Т.61. №5. С. 749-753.

3. Лукашов Ю.М., Токарь Б.З., Котенко Э.В. Исследование характеристик теплового аккумулятора на фазовом переходе // Тр. 1-ой Российской национальной конференции по теплообмену. М.: Изд-во МЭИ, 1994. Т.5. С.109-113.

4. Лукашов Ю.М., Токарь Б.З., Котенко Э.В. Тепловой расчет аккумуляторов теплоты на фазовом переходе // Сб. докладов 4 съезда АВОК. М., 1995. С.178-182.

5. Токарь Б.З. , Быковцов Ю.С., Котенко Э.В. Приближенный расчет температуры теплоносителя на выходе фазопереходного аккумулятора теплоты (режим разрядки) // Труды 2-ой Российской национальной конференции по теплообмену. М.: Изд-во МЭИ. 1998. Т.7.С.217-220.

6. Умеренков Е.В., Котенко Э.В. Моделирование процесса разрядки фазопереходного аккумулятора теплоты кожухотрубного типа // Научный вестник Воронеж. гос. арх.- строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2011. №1(21). С. 34-39.

7. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. Л.: Энергия,1976.С. 127.

*Получено 17.05.12*

**Ye.V. Umerenkov,** Lecturer**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**E.V.Kotenko,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**THE HEAT CALCULATION FOR SHELL-AND-TUBE HEAT BATTERY DURING PHASE CHANGE ON THE BASIS OF QUASI-STATIONARY APPROXIMATION**

*The heat calculation method using quasi-stationary heat condition model [6] for phase changing shell-and-tube heat battery (PCHB) has been offered. The developed device allows to design the PCHB with specified structural and technological parameters and desired discharge time on the assumption of specified minimal battery coolant output temperature and coolant and thermal storage material (TSM) thermal parameters including phase change temperature, as illustrated by a particular example of PCHB heat calculation.*

***Key words:*** *heat, heat cumulative material, phase transition, heat accumulator.*

УДК 624.074.43

**Л.Ю. Ступишин,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: lusgsh@yandex.ru)

**А.Г. Колесников,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (ag-kolesnikov@mail.ru)

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ФОРМ ОРТОТРОПНЫХ ПОЛОГИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ОБОЛОЧЕК

*Рассматриваются вопросы оптимального проектирования формы ортотропных пологих геометрически нелинейных оболочек на прямоугольном плане. Считается, что возможна как потеря прочности, так и потеря устойчивости оболочки.*

***Ключевые слова:*** *пологие оболочки, геометрическая нелинейность, ортотропный материал, критические нагрузки, напряжения в оболочке, оболочки переменной формы.*

***

Рассматриваются вопросы оптимального проектирования формы ортотропных пологих геометрически нелинейных оболочек на прямоугольном плане. Исследуются критические нагрузки и напряжения, возникающие в оболочке от статического действия равномерно распределенной вертикальной нагрузки при различных типах опирания.

Рассматривается множество пологих оболочек на прямоугольном плане, срединную поверхность которых можно задать как поверхность переноса и описать уравнением вида

$$F(x,y)=f\left[\alpha\left(\frac{x}{a}\right)^{2\xi}+\beta\left(\frac{y}{b}\right)^{2\xi}+1\right], \qquad (1)$$

где $f$ – стрела подъема в центре оболочки;

$\alpha=\frac{f_1}{f}$, $\beta=\frac{f_2}{f}$ – параметры, характеризующие форму оболочки;

$f_1$, $f_2$ – стрелы подъема опорных арок оболочки;

$a, b$ – размеры в плане.

Значения величин верхних критических нагрузок и напряжений для различных видов закрепления краев оболочек отыскиваются с помощью метода Бубнова – Галеркина [1].

Безразмерный коэффициент интенсивности верхней критической нагрузки имеет вид:

$$p=\frac{p_{cr}a^4}{Ef^4}, \qquad (2)$$

где $p=\frac{\psi_1}{t^4}\left[\left(t^2\psi_2^2\overline{J_2}^2-3\psi_3\left(\psi_4+t^2\psi_5\overline{J_2}^2\right)\right)^{3/2}+t\psi_2\overline{J_2}\left(t^2\psi^2\overline{J_2}^2-\frac{9}{2}\psi_3\left(\psi_4+t^2\psi_5\overline{J_2}^2\right)\right)\right]$.

$\psi_1=\frac{\overline{J_1}^2\overline{J_4}^2}{54\overline{J_3}^4}$, $\psi_2=\frac{3\overline{J_3}}{\overline{J_1}\overline{J_4}}$, $\psi_3=\frac{2\overline{J_3}^2}{\overline{J_1}\overline{J_4}}$, $\psi_4=\frac{\overline{J_5}}{12\left(1-\nu^2\right)\overline{J_4}}$, $\psi_5=\frac{1}{\overline{J_1}\overline{J_4}}$.

$\overline{J_1}=E_x h a^2 J_1$, $\overline{J_2}=\frac{a^2}{f}J_2$, $\overline{J_3}=a^2J_3$, $\overline{J_4}=\frac{1}{a^2}J_4$, $\overline{J_5}=\frac{12\left(1-\nu_x\nu_y\right)a^2}{E_x h^3}J_5$,

$$J_1=\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\left(\frac{1}{hE_x}\frac{\partial^4}{\partial y^4}\varphi+\frac{1}{hE_y}\frac{\partial^4}{\partial x^4}\varphi-\frac{\nu_y}{hE_y}\frac{\partial^4}{\partial x^2\partial y^2}\varphi-\frac{\nu_x}{hE_x}\frac{\partial^4}{\partial x^2\partial y^2}\varphi+\frac{1}{hG}\frac{\partial^4}{\partial x^2\partial y^2}\varphi\right)\overline{w}dxdy,$$

$$J_2=\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\left(\frac{\partial^2F}{\partial y^2}\frac{\partial^2\overline{w}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2F}{\partial x^2}\frac{\partial^2\overline{w}}{\partial y^2}-2\frac{\partial^2F}{\partial x\partial y}\frac{\partial^2\overline{w}}{\partial x\partial y}\right)\overline{w}dxdy,\ J_3=\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\left(\Delta\overline{w}\right)\overline{w}dxdy,\ J_4=\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}Z\overline{w}dxdy,$$

$$J_5=\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\left(D_x\frac{\partial^4}{\partial x^4}w+D_x\nu_y\frac{\partial^4}{\partial x^2\partial y^2}w+D_y\frac{\partial^4}{\partial y^4}w+D_y\nu_x\frac{\partial^4}{\partial x^2\partial y^2}w+\frac{1}{3}Gh^3\frac{\partial^4}{\partial x^2\partial y^2}w\right)\overline{w}dxdy$$

$$D_x = \frac{E_x}{12\left(1-\nu_x\nu_y\right)},$$

$$D_y = \frac{E_y}{12\left(1-\nu_x\nu_y\right)},$$

$$G = \frac{E_x E_y}{E_x\left(1+\nu_y\right)+E_y\left(1+\nu_x\right)};$$

$E_x, E_y$ – модули упругости во взаимно перпендикулярных направлениях,

$\nu_x, \nu_y$ – коэффициенты Пуассона во взаимно перпендикулярных направлениях.

Эквивалентные напряжения, возникающие в оболочке, принимаются по четвертой гипотезе прочности.

Рассматривались малые колебания пологих оболочек около положения, определяемого некоторой начальной нагрузкой. Начальное состояние определялось решением системы нелинейных уравнений теории геометрически нелинейных пологих оболочек [1].

Аппроксимирующая функция выбрана таким образом, чтобы удовлетворялись условия для общего случая – упругой заделки по краям оболочки. Для этого использованы балочные функции [1]:

$$\overline{w}(x,y) = Z_x Z_y .$$

Объем пологой геометрически нелинейной оболочки можно определить по формуле

$$V = \int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b} h\sqrt{1+\left(\frac{\partial F(x,y)}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial F(x,y)}{\partial y}\right)^2}\,dxdy . \quad (3)$$

С учетом особенностей функций объема, напряжений и критической нагрузки ортотропных пологих оболочек, на основе модификации одного из методов случайного поиска [2] построен алгоритм оптимизации их формы и соотношения модулей упругости в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Решались задачи определения формы срединной поверхности и соотношения модулей упругости в двух взаимно перпендикулярных направлениях на всем множестве допустимых значений этих величин с ограничениями первого рода по критериям: минимального объема оболочки; максимальной критической нагрузки; минимальных напряжений в центре оболочки; максимального значения низшей частоты малых свободных колебаний:

$$\begin{aligned} &V(\xi,\Theta)\to\min, \xi\in G, \Theta\in G;\\ &p(\xi,\Theta)\to\max, \xi\in G, \Theta\in G;\\ &\sigma(\xi,\Theta)\to\min, \xi\in G, \Theta\in G;\\ &\omega(\xi,\Theta)\to\max, \xi\in G, \Theta\in G; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &G = \{\xi : 0,5 < \xi_i < 2, i = \overline{1,n};\\ &0 < \Theta_y < 1, y = \overline{1,k}\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Результаты совпадают с полученными ранее зависимостями [3], поэтому, можно сделать вывод о корректной работе алгоритма оптимизации.

Разработанный алгоритм оптимизации формы срединной поверхности и соотношения модулей упругости в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а так же представление переменных в безразмерном виде, позволяют использовать их при проектировании облегченных ортотропных конструкций типа пологих оболочек.

Программы, реализованные в среде «Maple», позволяют решать задачи оптимизации формы срединной поверхности геометрически нелинейных пологих оболочек переменной толщины по следующим критериям:

- минимума объема (веса) при одном из ограничений;
- максимума критической нагрузки;
- минимума значений напряжений;
- максимума нижней частоты малых свободных колебаний.

Результаты решения задач оптимизации показывают значительный резерв экономии материала, увеличения критических нагрузок, увеличения значений нижних частот малых свободных колебаний или уменьшения значений напряжений в центре оболочки по сравнению с оболочками традиционно используемых форм.

*Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.*

**Список литературы**

1. Ступишин Л.Ю., Колесников А.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния пологих геометрически нелинейных оболочек на прямоугольном плане // Промышленное и гражданское строительство. 2009. №1. С. 24-26.

2. Скоков В.А. Некоторый вычислительный опыт решения задач нелинейного программирования // Математические методы исследования экономических задач. М, 1977. Вып.7. С. 51-48.

3. Кобелев Н.С., Ступишин Л.Ю., Колесников А.Г. Исследование области потери устойчивости или прочности ортотропных пологих геометрически нелинейных оболочек на прямоугольном плане // Известия Юго-Зап. гос. ун-та. Серия техника и технологии. 2011. №2. С. 36-40.

*Получено 07.06.12*

**L.U. Stupishin,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: lusgsh@yandex.ru)

**A.G. Kolesnikov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: ag-kolesnikov@mail.ru)

**OPTIMUM FORMS OF ORTHOTROPIC GEOMETRIC NONLINEAR SHALLOW SHELLS EXAMINATION**

*Geometric nonlinear orthotropic shallow shells are investigated for optimal form of median surface. Durability loss and stability loss is possible.*

***Key words:*** *shallow shells, nonlinearity, orthotropic material, critical force, variable middle surface, pressure, variable form.*

---

УДК 622.132.345:625

**В.А. Битюков,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел. 8(4712)55-29-51)

**П.А. Красных,** канд. физ.-мат. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел. 8(4712)51-85-71)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛАСТИЧНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

*Рассматривается выбор материалов, определение гидравлических параметров, определение структуры силового каркаса, расчёт минимального радиуса изгиба резинотканевого эластичного трубопровода.*

***Ключевые слова****: эластичный трубопровод, внутренняя камера, силовой каркас, расход жидкости, потери напора на трение, минимальный радиус изгиба.*

***

Эластичные трубопроводы в настоящее время нашли широкое применение при добыче строительных материалов со дна водоёмов, при проведении строительных работ по намыву дамб и строительных площадок и при транспортировке жидких и сыпучих строительных материалов.

Широкое применение эластичных трубопроводов объясняется их высокими эксплуатационными качествами: мобильность, меньшие масса и объём в 4…5 раз, высокая коррозионная и эрозионная стойкость, меньшие энергозатраты на 15…18%, чем у стальных трубопроводов.

Проведённые теоретические и экспериментальные исследования эластичных трубопроводов [1…4] показали хорошую сходимость результатов этих исследований. На основе этих работ, опыта расчёта, изготовления и эксплуатации разработан метод их проектирования. В

настоящее время фирма НПО «Композит» г. Курск производит эластичные трубопроводы широкой номенклатуры.

Эластичный трубопровод (рис.1) состоит из силового каркаса 1, внутренней камеры 2, наружного покрытия 3. Силовой каркас обеспечивает прочность, внутренняя камера противостоит эрозионным и коррозионным воздействиям транспортируемой среды, наружное покрытие защищает силовой каркас от воздействий наружной среды.

Заготовку эластичного трубопровода собирают на стальном дорне, покрывают двумя слоями бинтоленты и вулканизируют в туннельном вулканизаторе.

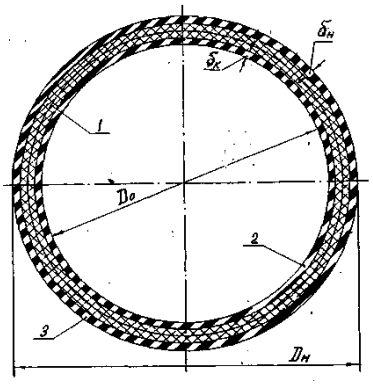



Рис.1. Поперечное сечение эластичного трубопровода

Разработка эластичных трубопроводов предусматривает следующие этапы: подготовка исходных данных; выбор рецептур резиновых смесей для внутренней камеры и наружного покрытия; определение параметров потока транспортируемой среды; определение прочностных параметров силового каркаса; определение минимального радиуса изгиба.

Исходными данными являются:

– аксонометрическая схема эластичного трубопровода;

– расход транспортируемой среды L, $м^3/с$;

– дальность транспортирования l, м;

– плотность транспортируемой среды ρ, $кг/м^3$;

– давление, создаваемое насосной установкой, Па;

– гранулометрический состав транспортируемой среды;

– наличие масел и нефтепродуктов в транспортируемой среде $г/м^3$;

– температуры наружного воздуха и транспортируемой среды;

– конструктивное исполнение эластичного трубопровода (наземный, плавающий, смешанный).

Выбор рецептуры резиновой смеси для внутренней камеры зависит от свойств транспортируемой среды. Для транспортирования нейтральных сред (*pH*=6,5…7,5) используются резиновые смеси на основе изопреновых и бутадиеновых каучуков (СКИ-3, СКД), которые обеспечивают высокое сопротивление абразивному износу, ударным нагрузкам и порезам. Масложиростойкие внутренние камеры изготавливают из резиновых смесей на основе поливинилхлорида (ПВХ). Добавление в эту рецептуру эпихлоргидринового каучука (ЭХГК) обеспечивает работоспособность до 140 °С. Для щелочных и кислотных транспортируемых сред используется кислотощелочные рецептуры резиновых смесей.

Толщина внутренней камеры $\delta_к$ составляет 2…8 мм. Для однофазных транспортируемых сред $\delta_к = 2…4$ мм.

Для полифазных транспортируемых сред с включением твердых тел, которые вызывают ударные нагрузки и порезы толщина внутренней камеры $\delta_к = 6…8$ мм.

Опыт эксплуатации эластичных трубопроводов показал, что толщина наружного покрытия достаточна при $\delta_н = 1…2$ мм из азоностойкой резиновой смеси.

Из проведённых исследований [1,3,4] известно, что под действием внутреннего давления происходит радиальная и осевая деформация эластичного трубопровода. Максимальное значение деформаций имеет место в начале и минимальное значение в конце эластичного трубопровода. Следовательно, средняя скорость потока меняется от $V_{min}$ до $V_{max}$, где $V_{min}$ и $V_{max}$ – минимальное и максимальное значения средней скорости. Для

однофазных жидкостей принимается V = 3…5 м/с.

Для устойчивого транспортирования полифазных сред (без образования завалов) необходимо обеспечить взвесенесущую способность потока, которая достигается при условии

$$\upsilon_{min} \geq \upsilon_{в}, \quad (1)$$

где $\upsilon_в$ – взвесенесущая скорость потока, м/с.

Взвесенесущая скорость зависит от гранулометрического состава сыпучего материала и определяется экспериментальным способом.

Внутренний диаметр в начале эластичного трубопровода определяется по формуле

$$D_1 = 1.13\sqrt{L/\upsilon_в}, \quad (2)$$

где $D_1$ - внутренний диаметр, м; L - расход жидкости, $м^3/с$.

Силовой каркас рассчитывается на давление, создаваемое насосной установкой с запасом прочности, равным 3.

$$T = \frac{3P_н D_1 C}{2}, \quad (3)$$

где T – прочность силового каркаса, Н/м; $P_н$ – давление, создаваемое насосной установкой, Па; C – коэффициент, учитывающий неравномерность слоёв ткани.

Число слоёв технической обрезиненной ткани в каркасе

$$n = \frac{T}{T_T}, \quad (4)$$

где n – число слоёв обрезиненной технической ткани; $T_т$ – прочность обрезиненной технической ткани Н/м.

Относительная радиальная деформация зависит от модуля упругости обрезиненной ткани и от числа слоёв ткани в силовом каркасе. С увеличением слоёв ткани в силовом каркасе модуль упругости возрастает, но не пропорционально числу слоёв.

Относительная радиальная деформация и радиальная прочность каркаса связаны в соответствии с законом Гука следующим соотношением:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{T}{\delta E}, \quad (5)$$

где ε – относительная радиальная деформация, %; σ – радиальные напряжения, возникающие в силовом каркасе, Па; δ – толщина силового каркаса, м; *E* – модуль упругости при растяжении, Па.

Поэтому для эластичных трубопроводов важными характеристиками являются произведение δE и отношение $E/E_c$ – модуль упругости при сжатии, Па.

По числу слоёв технической обрезиненной ткани в силовом каркасе из таблицы определяется произведение $\delta^* E$.

Изменение внутреннего диаметра по длине эластичного трубопровода определяется функцией [4]

$$D_0 = \sqrt[4]{D_1^4 + \frac{\lambda L^2 \rho}{\delta E} \ell_0}, \quad (6)$$

где – $D_0$ – начальный диаметр эластичного трубопровода, м; λ – коэффициент гидравлического трения; ρ – плотность жидкости, $м^3/с$; $\ell_0$ – длина эластичного трубопровода.

Зависимость δE и $E/E_c$ от числа слоёв ткани

| Число слоёв ткани | Марка ткани | Относительная радиальная деформация, ε % | $\delta^* E^* 10^5$, Н/м | $E/E_c$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | бесшовный рукав | 2…18 | 0,018 | |
| 2 | ТК-100Р | 1,5…13 | 0,66 | 5,95 |
| 2 | ТК-100 | 2…13 | 1,39 | 6,63 |
| 4 | ТК-200 | 2…14 | 5,28 | 7,85 |
| 5 | ТК-200 | 2…14 | 8,04 | 8,27 |
| 6 | ТК-200 | 2…14 | 10,37 | 8,82 |
| 8 | ТК-200 | 3…14 | 14,88 | 9,41 |

Относительная радиальная деформация не должна превышать 14%. При больших значениях резко возрастает скорость эрозионных процессов, что ведёт к быстрому разрушению внутренней камеры.

$$\varepsilon = \frac{D_1 - D_0}{D_0} 100\%, \qquad (7)$$

где $\varepsilon$ – относительная радиальная деформация, %.

Осевая деформация определяется по формуле

$$\Delta x = \frac{0,628}{D_0 B}\left[\left(\sqrt[4]{D_0^4 + B\ell}\right)^5 - D_0^5\right] - 0.785\ell_0, \quad (8)$$

где $B = \frac{\lambda * L^2 * \rho}{\delta * E}$.

Потери напора по длине определяются по формуле

$$\Delta P = 3.1\delta E\left(\frac{1}{D_0} - \frac{1}{\sqrt[4]{D_0 + Bl}}\right). \quad (9)$$

Гидравлические исследования и опыт эксплуатации [1, 2] показывают, что при равных расходах и равных расстояниях энергетические потери на транспорт в эластичном трубопроводе на 15…18% меньше, чем при транспорте в стальном трубопроводе.

При проведении подготовительных работ (намотка на барабаны, монтаж операционных схем), при эксплуатации приходится осуществлять изгибы резинотканных труб с требуемым радиусом изгиба $\rho$ при внутреннем давлении рабочей среды и без него. При этом необходимо выполнять условие

$$\rho \le \rho_{min}, \qquad (10)$$

где $\rho_{min}$ – минимальный радиус изгиба резинотканной трубы. Несоблюдение требуемого условия (10) приводит к потере устойчивости поперечного сечения, выражающейся в образовании заломов и перекрытии поперечного сечения трубы, что может впоследствии привести к гидравлическому удару и разрушению трубопровода. Поскольку сохранение первоначальных размеров и формы поперечного сечения резинотканевой трубы является непременным условием надежной работы, то определение параметров, обеспечивающих устойчивость поперечного сечения трубы, представляет важную проблему.

Для плоскосворачиваемых эластичных трубопроводов устойчивость поперечного сечения обеспечивается внутренним давлением и определяется по формуле

$$\rho_{min} = \frac{2\delta E\left(D + 2\delta\right)}{P D}. \qquad (11)$$

Ранее для потока жидкости были получены функциональные зависимости, показывающие что внутренний диаметр $D$ и статическое давление $P$ меняются по длине эластичного трубопровода. Поставив в формулу значения этих функций, получим уравнение

$$\rho_{min} = \frac{mD_0\left[\sqrt[4]{D_0^4 + B(1-x) + 2\delta}\right]}{4\sqrt{D_0^4 + B(1-x) - mD_0}}, \quad (12)$$

которое показывает, что минимальный радиус изгиба увеличивается по длине трубопровода.

Для многослойной резинотканевой трубы получена следующая формула

$$\rho_{min} = \frac{\delta r_c\left(r + \Delta + \delta\right)}{0.29E\delta^2 + 0.5Pr r_c}, \qquad (13)$$

где r – внутренний радиус, м; $r_c$ – средний радиус, м; $\Delta$ - смешение оси изгиба от оси симметрии поперечного сечения, м;

$$\Delta = r\sin\beta. \qquad (14)$$

Смещение $\Delta$ возникает по причине разности модуля упругости в зоне растяжения E, и модуля упругости в зоне сжатия $E_c$.

При расчёте наряженного состояния поперечного сечения эластичного трубопровода при изгибе получено уравнение, графическая интерпретация которого показана на рис. 2

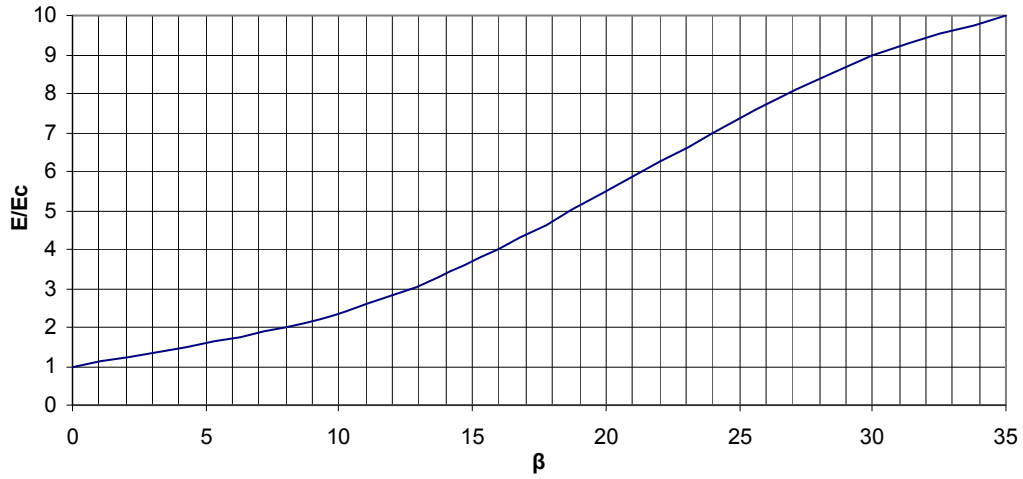



Рис. 2. Зависимость отношения модулей $E/E_c$ от угла β

Значения $E/E_c$ выбираются по таблице.

**Список литературы**

1. Новиков С.Г., Битюков В.А. Применение бесшовных плоскосварачиваемых эластичных трубопроводов на поливе сельскохозяйственных культур // Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. Технические науки. 1988. №4. С. 24-27.

2. Битюков В.А. Исследование и разработка эластичного всасывающего рукава для мобильных вентиляционных установок// Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. технические науки. 1990. №4. С. 30-32.

3. Битюков В.А. Динамический режим в эластичном трубопроводе // Теплоэнергетика: межвузовский сборник. Воронеж, 1997. С. 178-181.

4. Битюков В.А., Тинькова А.В., Кобелев Н.С. Влияние гидродинамических процессов на радиальные и продольные деформации эластичного трубопровода // Вибрационные машины и технологии: сб. науч. тр. Курск, 2008. С.446-450.

*Получено 09.07.12*

**V.A. Bitjukov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (tel. 8(4712)55-29-51)

**P.A.Krasnych,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (tel. 8(4712)51-85-71)

**THE DEFINITION OF THE ELASTICITY PIPELINES PRIMARY HYDRODYNAMIC PARAMETERS AND MECHANICAL PROPERTIES**

*The choice of materials, determination of hydraulic parameters, determination of structure of power framework, calculation of minimum radius of bend of rezinotkanevogo elastic pipeline, is examined.*

***Key words**: elastic pipeline, internal chamber, power framework, expense of liquid, losses of pressure on a friction, minimum radius of bend.*

УДК 625.535.002

**Н.С. Кобелев,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**Т.В. Алябьева,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

**В.Н. Кобелев,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**А.С. Дюмин,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru

# МЕТОДИКА РАСЧЁТА УСТРОЙСТВА КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ВЛАЖНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

*Рассмотрен эффективный способ очистки атмосферного воздуха от мелкодисперсной и частично парообразной влаги перед подачей его в вентилируемые воздушные прослойки помещений с повышенным влагосодержанием. При этом процесс очистки потока воздуха осуществляется устройством, расположенном на входном патрубке вентилятора.*

***Ключевые слова:*** *устройство комплексной очистки, атмосферный воздух, мелкодисперсная и парообразная влага, эксплуатация строительных конструкций, повышенная влажность.*

***

В условиях всемирного роста цен на энергоносители, сокращения бюджетных дотаций на топливо и энергообеспечение, тенденции к увеличению энергоёмкости промышленной продукции энергосберегающая политика приобретает первостепенное значение. Поэтому повышение эксплуатационной надёжности строительных конструкций зданий с повышенным влагосодержанием вентилируемого воздуха является одним из решений актуальной проблемы энергосбережения.

Одна из причин интенсивного износа несущих элементов строительных конструкций – цикличное изменение температурно-влажностных показателей паровоздушной среды, особенно при высоком остеклении помещения, когда в вентилируемой прослойке на остеклённой поверхности всегда находится определённое количество пара, конденсирующегося при снижении температуры окружающей здание среды.

Одним из решений данной проблемы является очистка атмосферного воздуха, загрязнённого мелкодисперсной и парообразной влагой, перед подачей его вентилятором в вентилируемую воздушную прослойку.

Отделение мелкодисперсной и парообразной влаги, практически постоянно находящейся во всасываемом вентилятором атмосферном воздухе, приводит к необходимости рассмотрения и выбора наиболее эффективных и менее энергоёмких способов и устройств его очистки, чтобы обеспечить надёжную эксплуатацию строительных конструкций с воздушной прослойкой и здания в целом.

Проведённыё авторами анализ известных теоретических положений и технических решений, а также изучение патентной литературы позволили разработать устройство, совмещающее разные способы по комплексной очистке атмосферного воздуха перед входным патрубком вентилятора.

Поэтапная очистка от мелкодисперсных частиц пыли и продуктов технологических процессов, каплеобразной и парообразной влаги осуществляется на предлагаемом устройстве (см. рис) следующим образом.

Атмосферный воздух в устройство по комплексной очистке (воздушный фильтр) поступает через сетку 3 для отделения крупных частиц загрязнений во входное отверстие 4 входного патрубка в виде суживающегося сопла 2 корпуса 1 воздушного фильтра, которое выполняет функцию воронки с закруткой движущегося потока.

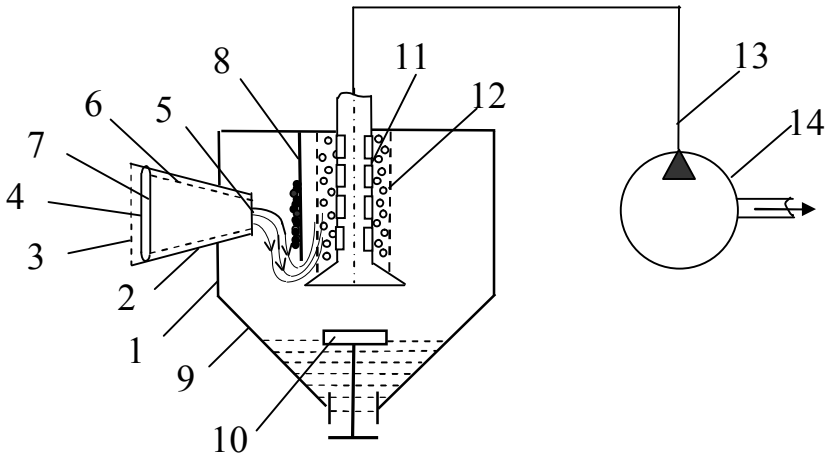



Рис. Воздушный фильтр для комплексной очистки всасываемого вентилятором атмосферного воздуха: 1 – корпус; 2 – входной патрубок воздушного фильтра в виде суживающегося сопла; 3 – сетка для отделения крупных частиц загрязнений атмосферного воздуха; 4 – входное отверстие суживающегося сопла; 5 – выходное отверстие суживающегося сопла; 6 – криволинейные винтообразные канавки, продольно расположенные от входного к выходному отверстиям суживающегося сопла; 7 – круговая канавка, соединённая с криволинейными канавками; 8 – отражательная перегородка; 9 – коническое днище воздушного фильтра; 10 – конденсатоотводчик поплавкового типа; 11 – выходной патрубок воздушного фильтра в виде перфорированного цилиндра; 12 – сетчатая ёмкость, заполненная адсорбирующим веществом, в виде патрона, установленного на выходном патрубке; 13 – всасывающий патрубок вентилятора; 14 – вентилятор с нагнетающим патрубком вентилируемого воздуха в вентилируемую прослойку

В результате завихрения при перемещении всасываемого атмосферного воздуха по криволинейным винтообразным канавкам 6, продольно расположенным от входного отверстия 4 к выходному отверстию 5, наблюдается его термодинамическое расслоение на периферийный «горячий» с температурой выше температуры окружающей среды и осевой «холодный» потоки [1].

Твёрдые частицы и каплеобразная влага, прошедшие через сетку 3 на входе в суживающееся сопло 2, центробежной силой отбрасываются в «горячий» поток, а парообразная влага в «холодном» потоке частично конденсируется с последующим перемещением конденсатных капель в «горячий» поток.

Выполнение на внутренней поверхности суживающегося сопла 2 криволинейных винтообразных канавок 6, продольно расположенных от входного отверстия 4 к выходному отверстию 5 и имеющих профиль в виде «ласточкина хвоста», способствует поступлению и последующему перемещению загрязнений, находящихся в «горячем» потоке, в сторону круговой канавки 7 для последующего удаления вручную или автоматически.

На выходе из суживающегося сопла 2 всасываемый атмосферный воздух внезапно расширяется с эффектом Джоуля-Томсона [2], что приводит к дальнейшему снижению его общей температуры, и ударяется об отражательную перегородку 8, образуя пограничный слой с «пятном» влаги, поступающей в виде сконденсировавшейся и мелкодисперсной атмосферной влаги из суживающегося сопла 2. В результате ударного воздействия потока всасываемого атмосферного воздуха на отражательную перегородку 8 выделяется теплота, которая частично испарит «пятно» влаги практически без теплообмена с материалом конструкции корпуса 1 воздушного фильтра, что позволит считать процесс теплообмена практически адиабатным, т.е. без теплообмена с окружающей средой [3].

Для описания процесса тепло-и массообмена определим поля температур, скоростей и потоков массы. Для этого в контактирующей смеси влажного всасываемого воздуха и «пятна» влаги, нахо-

дящейся на отражательной перегородке 8, выделим элементарный объём с рёбрами $d_x$, $d_y$, $d_z$, и запишем для него уравнение теплового баланса. Будем при этом полагать, что всё подводимое тепло ($q$) идёт на изменение энтальпии ($h$) рассматриваемого объёма (работа расширения равна нулю) [4].

$$\rho\frac{\partial h}{\partial\tau}=-\left\{\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial q_y}{\partial y}+\frac{\partial q_z}{\partial z}\right\}=-\mathrm{div}q. \quad (1)$$

В движущейся среде вещество переносится как молекулярной диффузией, так и конвекцией. В результате при перемещении исследуемого объёма смеси мелкодисперсной и сконденсировавшейся влаги с плотностью $\delta_{см}$ со скоростью $\omega_{см}$ происходит перенос массы, удельная величина $j_{см}$ которого определяется уравнением:

$$j_{см}=\rho_{см}\cdot\omega_{см}=\left(\rho_{вв}+\rho_{п}+\rho_{вл}\right)\cdot\omega_{см}=\sum\rho_i\cdot\omega_{см}. \quad (2)$$

где $\rho_{вв}$, $\rho_{п}$, $\rho_{вл}$ - плотность соответственно влажного воздуха, пара и влаги, ударившейся об отражательную перегородку.

Таким образом, в смеси плотность потока тепла описывается уравнением исходя из определения $h=c_pT$,

где $c_p$ - теплоёмкость влажного воздуха.

$$\frac{\partial t}{\partial\tau}+\omega_x\frac{\partial t}{\partial x}+\omega\frac{\partial t}{\partial y}+\omega_z\frac{\partial t}{\partial z}=$$
$$=a\nabla^2t-\frac{(c_{рвл}-c_{вв})}{c_p\rho_{см}}\left\{\frac{\partial(T\cdot j_{xi})}{\partial x}+\right. \quad (3)$$
$$\left.+\frac{\partial(T\cdot j_{yi})}{\partial y}+\frac{\partial(T\cdot j_{xi})}{\partial z}\right\}$$

где a - коэффициент температуропроводности;

$c_{рвл}$, $c_{вв}$ - теплоёмкость мелкодисперсной атмосферной и сконденсировавшейся влаги и влажного воздуха.

Полагая, что перенос вещества при контакте влажного воздуха с влагой «пятна» на отражательной перегородке осуществляется преимущественно путём концентрационной диффузии, имеем:

$$j_{xi}=-D\frac{\partial p_i}{\partial x}=-\rho_{см}\cdot D\frac{\partial m_i}{\partial x};$$
$$j_{yi}=-D\frac{\partial p_i}{\partial y}=-\rho_{см}\cdot D\frac{\partial m_i}{\partial y}; \quad (4)$$
$$j_{zi}=-D\frac{\partial p_i}{\partial z}=-\rho_{см}\cdot D\frac{\partial m_i}{\partial z},$$

где $m_i$ - локальное массосодержание воздушного компонента, равное отношению концентраций или плотностей воздушно-парового компонента и смеси: $m_i=\frac{\rho_i}{\rho_{см}}$.

Подставляя значения $j_{xi}$, $j_{yi}$, $j_{zi}$ в уравнение (3), получим:

$$\frac{\partial t}{\partial\tau}+\omega_x\frac{\partial t}{\partial x}+\omega\frac{\partial t}{\partial y}+\omega_z\frac{\partial t}{\partial z}=$$
$$=a\nabla^2t+D\frac{(c_{рвл}-c_{вв})}{c_p\rho_{см}}\times \quad (5)$$
$$\times\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(T\frac{\partial m_i}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(T\frac{\partial m_i}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(T\frac{\partial m_i}{\partial z}\right)\right\}$$

Температурное поле в элементарном объёме контакта обрабатываемого воздуха и «пятна» влаги зависит от составляющих скорости $\omega_y$, $\omega_z$ $\omega_x$, и массосодержания $m_i$. Тогда температура испарения при решении дифференциального уравнения массообмена определяется как

$$T_и=T_ж-\frac{rDP_п}{230\lambda_ж}\left(\frac{\Delta P}{P_п}\right)^{\frac{5}{6}} \quad (6)$$

где $T_ж$ - температура «пятна» жидкости на отражательной перегородке;

$P_п$ - давление парожидкостной смеси в пограничном слое «пятна» влаги на отражательной перегородке, Па;

г – скрытая теплота парообразования $\frac{Дж}{кг}$;

D – коэффициент диффузии;

$\Delta P$ - разность давления парожидкостной смеси и давления над поверхностью «пятна» влаги в состоянии насыщения Па;

$\lambda_ж$ - коэффициент теплопроводности жидкости $\frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$.

Влажный атмосферный воздух, очищенный от твёрдых частиц, как пыли, так и технологических процессов, а также каплеобразной мелкодисперсной влаги, насыщенной паром, огибает отражательную перегородку 8 и поступает в сетчатую ёмкость 12, заполненную адсорбирующим веществом, например, силикагелем, выполненную в виде съёмного патрона на перфорированном цилиндре выходного патрубка 11 воздушного фильтра.

В связи со спецификой эксплуатации воздушных фильтров-вентиляторов, обусловленной механико-вибрационными воздействиями на адсорбирующее вещество, вызывающими интенсивное разрушение поверхности зёрен адсорбента, на основании экспериментальных исследований получена зависимость объёма очищаемого от парообразных загрязнений вентиляционного воздуха и массы адсорбента $G_а$, подвергающегося вибрационным воздействиям, которая определяется выражением

$$G_{ад} = \frac{\tau_{ад} \cdot G_{вв} \cdot (d_п - d_к)}{Z_{ад}}, \qquad (7)$$

где $\tau_{ад}$ - время адсорбционной очистки вентиляционного воздуха;

$G_{вв}$ - расход влажного вентиляционного воздуха, очищенного от каплеобразной влаги;

$d_п$ и $d_к$ - влагосодержание воздуха до и после ёмкости с адсорбентом;

$Z_{ад}$ - влагоёмкость адсорбента.

Основная сложность в использовании уравнения (7) связана с вычислением влагоёмкости адсорбента, $Z_{ад}$, которая на основании проведённых авторами исследований и анализа литературных источников [5] может быть рекомендована:

$$Z_{ад} = Z_{св} (\eta_с - \eta_{ис}) \cdot \eta_р \cdot \eta_{об}, \qquad (8)$$

где $Z_{св}$ - влагоёмкость свежего, не бывшего в работе адсорбента;

$\eta_с$ - коэффициент, учитывающий разрушение или «старение» адсорбента, вызванное адсорбционно-десорбционным процессом, и равный 0,7;

$\eta_{ис}$ - коэффициент, учитывающий интенсивность «старения» адсорбента, вызванного вибрационным воздействием при эксплуатации воздушного фильтра; по экспериментальным данным $\eta_{ис} = 0,05 \div 0,15$;

$\eta_р$ - коэффициент, учитывающий понижение активности поглощающей способности адсорбента в результате разогрева слоя в процессе адсорбции;

$\eta_{об}$ - коэффициент, учитывающий понижение активности поглощения пара в результате неполной обработки слоя (понижение конечной скорости массообменных процессов).

Можно принять $\eta_р \cdot \eta_{об} = 0,4 \div 0,6$ [6], тогда

$$Z_{ад} = Z_{св} (0,39 - 0,22) \qquad (9)$$

Рассчитанный по данной методике объём адсорбента помещается в сетчатую ёмкость 12 и размещается на перфорированном цилиндре выходного патрубка 11 воздушного фильтра. После очищения до параметров, устраняющих возможность увлажнения в воздушных прослойках строительных конструкций, вентиляционный воздух поступает во всасывающий патрубок 13 вентилятора 14 и далее в вентилируемую воздушную прослойку.

Новизна технического решения по выполнению комплексной очистки вентиляционного воздуха защищена патентом РФ на изобретение [7].

**Выводы.**

Особенностью эксплуатации несущих конструкций в помещениях с повышенным влагосодержанием является поступление в вентилируемые прослойки воздуха с мелкодисперсной и парообразной влагой, которая образует на поверхности строительных элементов конденсатные плёнки, негативно воздействующие на прочностные параметры здания в целом.

На основании известных теоретических положений применительно к тепломассообмену влажного атмосферного воздуха, вентилируемого в прослойки, и анализа патентно-технической литературы разработано устройство комплексной очистки от мелкодисперсной и парообразной влаги потока воздуха, контактирующего с элементами строительных конструкций, что в конечном итоге поддерживает длительную эксплуатацию помещений.

*Статья написана в рамках мероприятия 1.1 «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров» в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2010-2013 годы.*

**Список литературы**

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969.369 с.

2. Нащокин В.В. Технические термодинамика и теплопередача: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1980. 469 с.

3. Кобелев Н.С., Щедрина Г.Г. Снижение энергозатрат при производстве пневмоэнергии в сложных погодно-климатических условиях // Промышленная энергетика. 2007. № 9. С. 34-37.

4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 752 с.

5. Повышение эксплуатационной надёжности строительных конструкций со значительной площадью остекления / В.Н. Кобелев, Д.В. Авдяков, А.В. Медведев, Т.С. Рождественская // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. Курск, 2005. С. 15-18.

6. Серпионова Е.Н. Промышленная адсорбция газов и паров. М.: Высш. шк., 1969. 388 с.

7. Пат. 247591 Российская Федерация МПК B 01D 46/24; 45/08. Фильтр для очистки воздуха / Кобелев В.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель КурскГТУ, заявл. 24.04.2003, опубл. 27.10.2004.

*Получено 21.06.12*

**N.S. Kobelev,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**T.V. Alyabeva,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

**V.N. Kobelev,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
**(**e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**A.S. Dyumin,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru*)*

**CALCULATION DEVICE INTEGRATED CLEANING VENTILATION AIR FOR WET ROOMS**

*Considered an effective way of cleaning air of fine and partially vaporized moisture before feeding it into the air spaces ventilated spaces with high moisture content. The process of cleaning the air flow by a device located on the inlet pipe fan.*

***Key words:*** *unit complex purification of air, highly dispersed and vaporous moisture, maintenance of building structures, high humidity.*

УДК 635.537.001

**Г.Г.Щедрина,** канд. техн.наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**О.А.Гнездилова,** канд. техн.наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail:gnezdilovakgtu@mail.ru)

**В.М.Пауков,** канд.физ.-мат. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

# ПРОБЛЕМЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В РЕГЕНЕРАТИВНЫХ АБСОРБЦИОННЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ

*Развитие промышленности сопровождается повышением требований к состоянию воздушной среды в производственных помещениях и атмосфере, а также решением вопроса снижения энергоемкости производства. Задачи охраны окружающей среды и рационального использования топлива являются важнейшими для развития промышленного потенциала. Поэтому в настоящее время актуально решение вопросов очистки выбросов и одновременного использования их теплоты в системах утилизации.*

***Ключевые слова:*** *абсорбционная осушка воздуха, регенеративный теплообменник, критерии тепло- и массообмена, вентиляционные выбросы, повышенное влагосодержание.*

***

В ряде отраслей промышленности воздух, удаляемый местными отсосами, имеет температуру 40–80 $^{o}$C и удельную энтальпию 100–500 кДж/кг. В этом случае теплота вентиляционных выбросов может быть использована для нагревания приточного воздуха систем вентиляции и воздушного отопления.

В технике широко известны различные способы снижения влагосодержания воздуха, но большинство из них применимы при незначительных диапазонах температур и влажности, характерных для выбросов систем общеобменной вентиляции. Использование же существующих методов осушки воздуха для промышленных выбросов с температурой 40–80 $^{o}$C и влагосодержанием до 300 г/кг не приводит к желаемому результату или требует значительных капитальных затрат. Поэтому изыскание эффективного и оптимального варианта по степени осушки воздуха и экономичности представляет актуальную задачу.

Так как вентиляционные выбросы от технологического оборудования "мокрой группы" имеют высокую температуру 40–80 $^{o}$C, то наряду с их осушкой желательно предусматривать и утилизацию теплоты.

Для утилизации теплоты вентиляционных выбросов в настоящее время широко применяются регенеративные теплообменники с вращающейся теплообменной насадкой, в которых передача тепла осуществляется аккумулирующей массой, находящейся последовательно в потоках теплого и холодного воздуха.

Аппараты данного типа обладают хорошими теплотехническими характеристиками, технологичностью изготовления, большей компактностью, меньшим аэродинамическим сопротивлением, меньшей металлоемкостью.

Но следует отметить, что разработанные и применяемые вращающиеся регенеративные теплообменники (схема представлена на рис.2а) удобны для утилизации теплоты воздуха, который содержит незначительное количество водяных паров. Использование устройств этого класса для парогазовой смеси, содержащей значительное количество влаги, затруднено тем, что существующие конструкции не обеспечивают своевременный отвод образовавшегося конденсата. Для расширения области применения, включающей осушку и утилизацию теплоты воздуха повышенного влагосодержания, необходимо разрабатывать регенеративные теплообменники, отвечающие следующим основным требованиям: должны быть обеспечены интенсификация тепломассообмена за счет разрушения пленки конденсата, пограничных слоев холодного воздуха и парогазовой смеси на поверхности теплообмена, а также своевременный отвод конденсата с поверхности теплообмена.

Для дальнейшего повышения эффективности тепломассообменных устройств необходимо разрабатывать конструкции,

обеспечивающие как энергосберегающие процессы очистки вентиляционных выбросов, так и нормированно–качественные показатели осушки воздуха.

В настоящее время известны два способа решения этой задачи: снижение толщины пограничного слоя, насыщенного капле– и парообразными загрязнениями воздуха за счет турбулизации потока вентилируемых выбросов в месте его контакта с пластинами, покрытыми пленкой из абсорбирующего вещества, и сокращения периодичности абсорбционно–десорбционных процессов тепломассообменного аппарата.

Первый способ позволит повысить интенсивность тепломассообмена в 1,2–1,4 раза за счет увеличения коэффициента теплоотдачи при турбулизации потока по сравнению с ламинарным движением в поперечном слое в 2–2,5 раза. Сокращение времени регенерации абсорбирующего материала, являющееся основой второго способа, значительно снижает энергоемкость абсорбционно–десорбционного процесса при нормированных показателях осушки воздуха.

Таким образом, для рассматриваемого класса теплообменных аппаратов повышение показателей тепломассообмена может быть достигнуто путем направленного воздействия на увеличение конвекции и ускорение процесса регенерации пленочно–пластинчатых ребер с абсорбирующим веществом.

Выбор метода интенсификации базируется на изучении течения теплоносителя в конкретных типах теплообменных устройств, а также на известных способах направленного изменения структуры потока, оптимальной для повышения эффективности теплообмена.

Так как

$$q = \left(\lambda + \rho \cdot c_p \cdot \varepsilon_q\right)\frac{\partial T}{\partial r}, \qquad (1)$$

а коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = \frac{q_c}{T_c - T_\infty}, \qquad (2)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м$^2$; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); ρ – плотность, кг/м$^3$; $c_p$ – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); $\varepsilon_q$ – коэффициент турбулентной температуропроводности, м$^2$/с; T – температура, К; r – текущий радиус, м; индексы: c – на стенке; ∞ – в потоке,

то нетрудно заключить, что наибольшее влияние на теплоотдачу окажет увеличение коэффициента турбулентного переноса теплоты $\varepsilon_q$ в непосредственной близости от стенки. Следовательно, наибольшего эффекта в интенсификации можно добиться, увеличивая $\varepsilon_q$ именно в пристенных слоях поверхности теплообмена. В то же время ясно, что дополнительная турбулизация ядра потока (где $\varepsilon_q$ велико, а $q << q_c$) мало увеличит теплоотдачу, хотя и приведет к росту гидравлических потерь . Поэтому необходимо лишь решить, каким путем увеличить $\varepsilon_q$ в пристенном слое.

Возникновение в пограничном слое продольных вихрей сопровождается резким увеличением теплоотдачи, а интенсивность самих возмущений зависит от степени неоднородности поля скоростей в поперечном направлении.

На основании этой важной особенности продольно–вихревой структуры можно заключить, что с точки зрения улучшения теплообмена в регенеративных устройствах наиболее целесообразно применять регулярную насадку из теплоаккумулирующих пластин, расположенных перпендикулярно оси воздушного потока. Под воздействием положительного градиента давления за кормовой областью пластины образуются мощные вихревые структуры, вызывающие повышение уровня интенсивности теплообмена.

Рассматриваемый аппарат (рис.) состоит из разделенных перегородкой 3 двух емкостей: верхней 1 для вентиляционных выбросов и нижней 2 для адсорбирующей жидкости. Теплообменная поверхность регенератора выполнена из пластин 4. покрытых пленкой с абсорбирующим веществом, расположенных на теплоаккумулирующем цилиндре 5, или барабане. Длина каждой пластины меньше ширины каналов приточного и удаляемого воздуха на 5–10 мм.

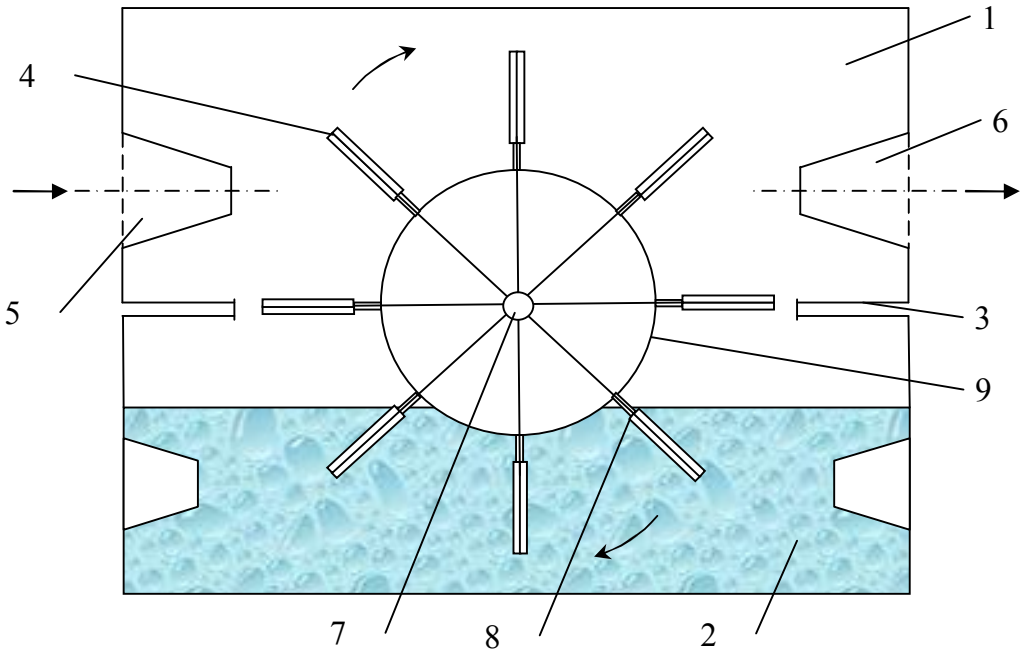



Рис. Абсорбционный регенеративный вращающийся теплообменник: 1 – верхняя емкость для пропуска потока воздуха; 2 – емкость, заполненная абсорбирующей жидкостью (*LiCl*); 3 – перегородка; 4 – пластины, покрытые пленкой с абсорбирующим веществом; 5 – канал притока вентиляционного воздуха; 6 – канал удаления вентиляционного воздуха; 7 – ось; 8 – продольные ребра; 9 – теплоаккумулирующий цилиндр

Интенсивность тепломассообмена в канале удаляемого воздуха обеспечивается высокой периодичностью абсорбционно–десорбционного процесса на пластине, покрытой пленкой с абсорбирующим веществом в результате действия сил поверхностного натяжения, тяжести и центробежной, а также образованием дополнительной поверхности конденсации – капель, срывающихся с пластин и падающих в абсорбирующую жидкость. Необходимо отметить, что вращение насадки рассматриваемого аппарата вызывает рост турбулентности внешнего потока теплоносителя. Этот фактор сильно влияет на теплообмен даже в условиях развитого турбулентного течения в пограничном слое и позволяет повысить эффективность тепломассообмена в регенеративном абсорбционном теплообменнике.

Для процесса теплоотдачи при расположении пластин перпендикулярно потоку воздуха рекомендуются уравнения :

при $\mathrm{Re} < 1 \cdot 10^3$

$$\mathrm{Nu} = 0,49 \cdot \mathrm{Re}^{0,5}, \quad (3)$$

при $\mathrm{Re} > 1 \cdot 10^3$

$$\mathrm{Nu} = 0,35 \cdot \mathrm{Re}^{0,6}, \quad (4)$$

где $\mathrm{Re} = \upsilon \frac{d}{\nu}$ – критерий Рейнольдса;

$\mathrm{Nu} = \alpha \frac{d}{\lambda}$ – критерий Нуссельта;

$\upsilon$ – скорость воздуха в узком сечении пакета, м/с;

$\nu$ –коэффициент кинематической вязкости, м$^2$/с;

$\alpha$ – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м·К);

d – диаметр трубы пакета, м.

Переписав выражения (3), (4) в виде соотношений

$$\frac{\alpha}{c_1} = d^{-0,5}, \quad (5)$$

$$\frac{\alpha}{c_2} = d^{-0,4}, \quad (6)$$

где $c_1 = 0,49 \cdot \lambda \left(\frac{\upsilon}{\nu}\right)^{0,5}$; $c_2 = 0,35 \cdot \lambda \left(\frac{\upsilon}{\nu}\right)^{0,6}$,

*a* – коэффициент температуропроводности, м$^2$/с; индекс *c* – определяющая температура – температура стенки можно

оценить влияние характерного геометрического размера системы на теплообмен.

Тепловую эффективность аппаратов типа многорядного регенератора с насадкой из пластин, покрытых пленкой с абсорбирующим веществом на аккумулирующем цилиндре, обеспечат следующие факторы:

– турбулизация ядра газового потока при вращении барабана из пластин, покрытых абсорбирующим веществом, расположенных препендикулярно потоку воздуха;

– расположение пластин, покрытых пленкой из абсорбирующего вещества, под углом к оси потока влажного воздуха;

– снижение толщины пленки конденсата в результате своевременного перемещения пластин из процесса абсорбции в процесс десорбции.

Кроме того, поверхность капель конденсата, срывающихся с пластин и падающих в абсорбирующую жидкость, является дополнительной поверхностью теплообмена в канале удаляемого воздуха.

**Список литературы**

1. Исаченко В. П. Теплообмен при конденсации. М.: Энергия, 1977. 240 с.

2. Кутателадзе С.С., Леонтьев А.М. Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое. М.: Энергоатомиздат, 1985. 320 с.

3. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. М., Л.: Госэнергоиздат, 1963. 536 с.

*Получено 01.06.12*

**G.G.Schedrina,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**O.A.Gnezdilova,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: gnezdilovakgtu@mail.ru)

**V.M.Paukov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**PROBLEM OF INTENSIFICATION OF HEAT AND MASS TRANSFER IN REGENERATIVE HEAT EXCHANGER ABSORPTION**

*The development industry is accompanied by increased requirements for environmental air in production facilities and atmosphere, as well as issues to reduce energy intensity. Objectives of environmental protection and rational use of fuel are essential for the development of industrial potential. Therefore, at present important issues abatement and the simultaneous use of heat recovery systems.*

***Key words:*** *Absorption drying air, regenerative heat exchanger, heat and criteria massooobmena, air emissions, increased moisture content.*

---

УДК 532.542

**А.А.Акульшин,** канд.техн.наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: dayto@rambler.ru)

**В.П.Петреченко,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел. (4712) 50-48-18)

**А.А.Акульшин,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел. (4712) 50-48-18)

**И.С. Шалай,** студент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел. (4712) 50-48-18)

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СТРУЙНЫХ НАСОСОВ**

*Представлен анализ методов расчета струйных насосов. Показаны подходы различных авторов к расчету струйных насосов при различных режимах и допусках.*

*Использование для расчёта насоса как размерных так и безразмерных характеристик. Показаны достоинства и недостатки различных методов расчета.*

***Ключевые слова:*** *струйные насосы, потоки, характеристики, размеры, режимы.*

***

Расчет струйных насосов основывается на теории смешения двух потоков. При этом предполагается, что при смешивании двух потоков массы активного и перекачиваемого потоков обмениваются между собой импульсами.

Основоположником применения в расчетах струйных насосов теории сохранения количества движения является Уильям Джон Ранкин [1].

При расчете струйных насосов распределение скорости во всех потоках принимается прямоугольным, а гидродинамическое давление в сечении камеры смешения постоянным.

Цейнер считает, что наивыгоднейшие размеры струйных аппаратов, при которых можно было бы получить наибольшее значение КПД, не могут быть определены теоретически.

Однако по уравнениям Цейнера и Бержерова невозможно провести расчёт струйных насосов с максимальным КПД, т.к. неизвестна наивыгоднейшая скорость эжектируемого потока при входе в камеру смешения.

Каменев П.Н. утверждает, что «давление, развиваемое струйными аппаратами, будет максимальным тогда, когда происходит смешивание потоков с весьма полезным увеличением давления в смесительной камере, а затем ещё в диффузоре» [2].

При исследовании характеристик струйного насоса одни исследователи [4] продолжают работать с размерными величинами, другие приводят уравнения к безразмерному виду[5].

В работе [5] безразмерная характеристика выражает зависимость относительного напора от относительного расхода струи. Недостатком безразмерного вида является то, что для определения размерного напора необходимо сначала вычислить скорость истечения из сопла.

Использование, для расчёта насоса в безразмерных характеристик возможно лишь при условии, что значения коэффициентов сопротивлений для данного семейства насосов практически не зависят от абсолютных значений рабочих параметров. Это условие сводится к существованию кинематического подобия рабочих режимов в широком диапазоне изменения числа Рейнольдса.

Рабочий режим струйного насоса полностью определяет четыре размерные величины: полезный напор, созданный насосом, рабочий напор, затрачиваемый в струйном насосе и расходы. Если не все из этих величин заданы, то недостающие могут определяться из дополнительных условий, которыми чаще всего является требование наибольшего КПД.

Так как эти выражения весьма громоздки для рабочих характеристик, то при оптимизации струйного насоса часто приходиться пренебрегать отдельными членами зависимостей [6,7], определять наивыгоднейший режим по методу вариантов [4]. Среди этих методов ряду авторов представляется наиболее интересным нахождение оптимального режима по огибающей семейства безразмерных характеристик струйных насосов с различными значениями геометрического парамех [8,9,10,11].

Надо отметить и недостатки этого метода расчёта:

- не показаны факторы, влияющие на КПД;
- сводный график не позволяет непосредственно строить характеристики выбранного насоса;
- в огибающую входят насосы как с высокими, так и с низкими абсолютными значениями КПД;
- если выбранный струйный насос не удовлетворяет условию бескавитационной работы, приходится перестраивать основную линию сводного графика – огибающую напорных характеристик.

Работы В.Н. Гончаровой, Н.А. Ржаницына, К.М. Леоновича [13,14] основаны на теории А.Я. Миловича - растекания струи в неподвижной жидкости, предполагающей неизменность кинетической энергии рабочей струи вдоль пути.

Исследования, проведенные в более поздний период, показали, что в затопленной струе имеет место постоянство количества движения, а не кинетической энергии и пренебрежение скоростью подсасываемой жидкости дает большую погрешность.

И.М. Коновалова [15], Г.Н. Абрамовича [16], Ф.Д. Цейтлина [17], А.Г. Полюшкова [18], Г.У. Мускевича [19] предложили методы, учитывающие растекание рабочей турбулентной струи в спутном потоке.

Надо отметить, что методы расчёта струйных насосов, основанные на теории растекания турбулентной затопленной струи, не согласованы с друг другом. И.М. Коновалов, применяя к эжектированию уравнение движения жидкости с переменным расходом, утверждает, что давление по длине камеры смешения постоянно, а Г.Н. Абрамович полагает постоянной скорость эжектируемого потока.

Одним из наиболее совершенных методов расчёта струйных аппаратов, основанных на теории растекания турбулентной затопленной струи, является метод Г.Е. Мускевича. По этому методу эжектирующая и эжектируемая струи рассматриваются как потоки с переменным вдоль пути расходом: первый – с возрастающим, второй – с убывающим [21].

Для определения средней скорости Г.Е. Мускевич разбивает поперечными плоскостями всю длину активного участка на n частей, в каждой из которых применяется уравнение, интегрируемое при следующих допущениях, применимых в пределах каждой части:

– максимальная и средняя скорости, а также корректив Буссинаска части расхода эжектируемого потока, присоединяемой на i-том участке, постоянны вдоль пути;

– рабочая струя развивается в изобарических условиях с постоянным коррективом Буссинеска, вычисляемым по Г. Шлихтингу для свободной турбулентности [8].

Подводя итог к описанию методов расчёта струйных насосов, основанных на теории растекания турбулентной затопленной струи, можно отметить, что положительным свойством этих методов является возможность определения продольных размеров струйных насосов, а также характеристик насосов произвольной геометрии. Однако из-за сложности процессов, происходящих в камере смешения, их в настоящее время не удаётся описать чисто дедуктивным путём без применения экспериментальных параметров и малообоснованных гипотез, что уменьшает ценность теоретических результатов, застрахованных от несовпадения.

Несовершенство расчётных методик привело к разработке чисто эмпирических методов расчёта струйных насосов [12, 22]. Эти методы достаточно точно описывают работу струйных насосов в том диапазоне параметров, в котором они были получены. Основным недостатком этих методов является то, что они не объясняют сущности гидравлических процессов и не могут охватить всего множества насосов и режимов их работы.

В последнее время стали развиваться конечноразностные методы расчёта струйных аппаратов. Хотелось бы отметить, что в литературе очень мало внимания уделяется нерасчётным режимам работы струйных насосов, когда часть или весь поток соответствующего тракта течет в противоположном к принятому направлении.

**Список литературы**

1. Мускевич Г.Е. Гидравлические исследования и расчет водоструйных аппаратов (гидроэлеваторов): дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1970. 242 с.

2. Каменев П.Н. Гидроэлеваторы в строительстве. М.: Стройиздат, 1970. 415 с.

3. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1969. 324 с.

4. Киселев П.Г. Основы теории водоструйных аппаратов (эжекторов). М., 1979. 27 с.

5. Темнов В.К. Основы теории жидкостных эжекторов. Челябинск, 1971. 88 с.

6. Шапиро Я.Г. Экспериментальное исследование жидкостного эжектора // Науч. тр. МАИ. Вып. 97. С. 191-236.

7. Кавитация в струйном насосе /Кэннингэм, Хэнсен, На. Теоретические основы инженерных расчетов. Серия Д. М.: Мир, 1970. Т. 92. С. 69-70.

8. Карамбиров С. Н. Гидравлические характеристики струйных аппаратов для узлов присоединения к групповым водопроводам: дис. ... канд. техн. наук. М., 1982. 199 с.

9. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. М.: Энергия, 1970. 287 с.

10. Подвиз Л.Г., Кирилловский Ю.Л. Расчет струйных насосов и установок // Научн. тр. ВНИИГидромаш. М., 1968. Вып. 28. С. 44-96.

11. Кирилловский Ю.Л., Подвидз Л.Г. Рабочий процесс и основы расчета струйных насосов // Научн.тр. ВНИИГидромаш. М., 1960. Вып. 26. С. 96-135.

12. Фридман Б.Э. Гидроэлеваторы. М.: Машгиз, 1960. 321 с.

13. Ржаницын Н.А. Водоструйные насосы (гидроэлеваторы). М.-Л.: ГОНТИ. Редакция энергетической литературы, 1938. 103 с.

14. ГОСТ 13377-75. Надежность в технике. Термины и определения. М., 1975.

15. Коновалов И.М. Гидромониторные суда. М.-Л.: Речиздат, 1941. 132 с.

16. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. М.:Физматгиз,160. 715 с.

17. Цейтлин Ф.Д. Расчет гидравлических эжекторов // Научн.тр. ЛИТВ. М.-Л.: Транспорт, 1964. С. 23-42.

18. Полюшков А.Г. Применение теории свободной струи в спутном потоке к расчету струйного аппарата // Теплоэнергетика. 1955. №6. С. 16-18.

19. Мускевич Г.Е. Гидравлические исследования и расчет водоструйных аппаратов (гидроэлеваторов): дис. ... канд.техн.наук. Ростов-на-Дону, 1970. 242 с.

20. Турбулентное смешение газовых струй / Г.Н. Абрамович, С.Ю. Крашенинников, А.Н. Скундов [и др.]. М.: Наука, 1974. 272 с.

21. Мускевич Г.Е. Новый метод расчета энергетических характеристик водоструйных аппаратов // Научн.тр. ЮжНИИГиМ. Новочеркасск, 1967. №12. С. 112-127-12.

22. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1971. 540 с.

*Получено 27.06.12*

**A.A.Akulshin,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: dayto@rambler.ru)

**V.P.Petrechenko,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (tel. (4712) 50-48-18)

**A.A.Akulshin,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (tel. (4712) 50-48-18)

**I.S.Shalay,** Student, Southwest State University (Kursk) (tel. (4712) 50-48-18)

**ANALYSIS OF METHODS OF CALCULATION OF JET PUMPS**

*The analysis of methods of calculation of jet pumps is presented. Approaches of various authors to calculation of jet pumps are shown at various modes and admissions.*

*Use for pump calculation as dimensional and dimensionless characteristics. Advantages and not remains of various methods of calculation are shown.*

***Key words:*** *jet pumps, streams, characteristics, sizes, modes.*

УДК 635.548.002

**Н.С. Кобелев,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**Т.В. Алябьева,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

**С.В. Катунин,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**Т.И. Аксёнова,** доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОМФОРТНОСТИ КАБИНЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

*Предложено конструктивное решение, устраняющее образование потока жидкости по остеклению кабины автомобиля при контакте его с атмосферным воздухом. Предложена методика расчета массы конденсирующегося пара и разработана биметаллическая основа разрушения конденсатной пленки за счет постоянного термовибрационного воздействия, заключающаяся в создании биметалла из компонентов с коэффициентами теплопроводности, отличающимися в 2,0 – 2,5 раза.*

***Ключевые слова:*** *биметалл, конденсатная плёнка, термовибрация, транспортное средство.*

***

Даже в хорошую без дождя и тумана погоду на вертикальной или наклонной остекленной поверхности транспортного средства, температура которой $t_{ст}$ меньше температуры контактируемого с ней паровоздушного потока $t_{см}$ , образуется конденсатная пленка, которая резко снижает обзор водителю и, следовательно, комфортные условия его работы, причем, чем больше конденсата на остеклении, тем больше предпосылок для появления аварийной ситуации на дороге.

Определим количество конденсата выделяемого в единицу времени на остеклении кабины. Для этого примем следующие допущения:

– силы инерции, возникающие в пленке конденсата, пренебрежительно малы по сравнению с силами вязкости и силами тяжести;

– конвективный перенос теплоты в пленке, а также теплопроводность вдоль неё не учитывается; учитывается только теплопроводность поперек пленки;

– трение на границе раздела паровой и жидкой фаз отсутствует;

– температура внешней поверхности пленки конденсата постоянна и равна температуре насыщения $t_н$;

– физические параметры конденсата не зависят от температуры;

– силы поверхностного натяжения на свободной поверхности пленки не влияют на характер её течения;

– плотность пара мала по сравнению с плотностью конденсации.

Воспользуемся уравнением [1]

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0 \quad \text{и} \quad м_k \frac{\partial^2 ш_k}{\partial y^2} = -c_k g, \qquad (1)$$

где $y$ – координата остекления по высоте;

$c_k$, $м_k$, $ш_k$ – плотность, динамическая вязкость и скорость перемещения конденсатной пленки; Граничные условия: при y =0; $t = t_{ст}$ и $\omega_k = 0$;

при y =δ; $t = t_н$ и $\frac{\partial ш_k}{\partial y} = 0$.

Равенство нулю производной $\frac{\partial ш_k}{\partial y}$ следует из условия, что трением на границе раздела фаз пренебрегаем.

Интегрирование уравнения энергии, при записанных условиях, имеем

$$\frac{\partial t}{\partial y} = \frac{t_н - t_{ст}}{\delta}, \qquad (2)$$

где δ – толщина конденсатной пленки.

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = \frac{g_k}{t_н - t_{ст}} = \frac{\lambda_k \dfrac{\partial t}{\partial y}}{t_н - t_{ст}} = \frac{\lambda_ж}{\delta}, \quad (3)$$

следовательно, коэффициент в определенной точке поверхности теплообмена прямо пропорционален коэффициенту теплопроводности и обратно пропорционален толщине пленки.

Количество конденсата, протекающего в единицу времени через поперечное сечение пленки по её ширине, равной l определим из выражения

$$G_k = c_k \omega_k \delta \cdot l. \quad (4)$$

Через сечение, лежащее ниже на величину $d_y$ образующегося конденсата, протекает больше на

$$dG_k = d(c_k \omega_k \delta). \quad (5)$$

Этот прирост расхода происходит за счет массы конденсата ранее произошедшей на остеклении.

Скорость течения конденсатной пленки по остеклению определяется как

$$\omega_k = \frac{c_k g}{3\mu_k} \delta^2. \quad (6)$$

Для устранения негативного влияния конденсатной пленки на лобовом и/или боковом остеклении кабины транспортного средства, необходимо создать условия, постоянно разрушающие поток перемещающейся сверху вниз (по координате *y*) жидкости.

Авторами разработано новое принципиальное решение, обеспечивающее комфортные условия обзора в изменяющихся погодно-климатических условиях эксплуатации, путем выполнения композиционного остекления, состоящего из стекла и биметаллической сетки.

Известно, что конденсация сопровождается как отводом конденсата, так и отводом теплоты. Следовательно, остекление транспортного средства подвергается воздействию температурных градиентов со стороны конденсирующего пара и воздуха внутри кабины, где средняя температура $T_{ср}$ стекла определяется как [2]

$$T_{ср} = \frac{T_п g_п Cp_п + T_в g_в Cp_в}{g_п C_п + g_в C_в}, \quad (7)$$

где $T_п$, $T_в$, $g_п$, $g_в$, $Cp_п$, $Cp_в$ – температуры, массовые доли и теплоемкости при постоянном давлении соответственно пара и воздуха внутри кабины.

Как показывает практика эксплуатации [3] температура стекла возрастает на 5–10°С по сравнению с температурой окружающей среды. Данные перепады температур достаточны для возникновения термовибрации биметаллической сетки [4], входящей как компонент композиционного состава остекления транспортного средства. Постоянное термовибрационное воздействие разрушает конденсатную пленку, что к конечном итоге улучшает обзор для водителя в условиях эксплуатации транспортного средства при контакте остекления с конденсирующим паром атмосферного воздуха окружающей среды. В качестве биметаллической сетки предлагается использовать биметалл, состоящий, например, из алюминия с коэффициентом теплопроводности 204 Вт/(м·°С) и латуни с коэффициентом теплопроводности 85 Вт/(м·°С). Новизна технического решения защищена патентом Российской Федерации на изобретение [5].

**Выводы**

Получены аналитические зависимости образования конденсатной пленки на наклонной лобовой и вертикальных боковых стеклах транспортного средства при эксплуатации в сложных погодно-климатических условиях, когда обзор из кабины резко ухудшается вследствие наличия конденсирующего пара во встречном по мере движения атмосферном воздухе.

Разработан композиционный материал для кабины транспортного средства, в который наряду со стеклом входит в качестве компоненты биметаллическая сетка.

Определено оптимальное соотношение коэффициентов теплопроводности составляющих материалов биметалличе-

ской сетки, обеспечивающее возникновение термовибрации при различных температурных режимах эксплуатации транспортного средства.

**Список литературы**

1. Исаченко В.П., Осипова В.А. , Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергия, 1981. 417 с.

2. Нащёкин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М.: Высш. шк., 1985. 369 с.

3. Техническая эксплуатация автомобилей / под ред. Г.В. Краморенко. М.: Транспорт, 1993. 488с.

4. Дмитриев В.Н. Биметаллы. Пермь: кн. изд-во, 1997. 427 с.

5. Пат. №50561 Российская Федерация, МПК[7] Е 04 В2/14. Ограждающий элемент с солнечным коллектором / Кобелев Н.С. [и др.]; заявитель и патентообладатель Курск. гос. техн. ун-т. 2005121040/22; заявл. 05.07.2005; опубл. 20.01.2006.

*Получено 04.07.12*

**N.S. Kobelev,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**T.V. Alyabeva,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

**S.V. Katunin,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
**(**e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru)

**T.I. Aksenova,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

**USE OF THE COMPOSITE MATERIAL FOR INCREASE OF COMFORT OF THE CABIN OF THE VEHICLE**

*The constructive decision eliminating formation of a stream of liquid on a glazing of a cabin of the car at its contact to atmospheric air is offered. The design procedure of weight of being condensed steam is offered and the bimetallic basis of destruction of a kondensatny film at the expense of the continuous thermovibrating influence, consisting in bimetal creation from components with the factors of heat conductivity which are differing in 2,0 – 2,5 times is developed.*

***Key words**: bimetal, kondensatny film, thermovibration, vehicle.*

# Безопасность жизнедеятельности

УДК 658.345

**В.М. Попов,** канд.техн.наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел. (4712) 50-48-29)

**В.В. Юшин,** канд.техн.наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: ushinvv@mail.ru)

**М.А. Камардин,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kamardinma@yandex.ru)

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ, СХЕМ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ

*Дана классификация основных методов оценки профессиональных рисков. Проведен анализ существующих качественных и количественных методов, схем оценки профессионального риска.*

***Ключевые слова:*** *профессиональный риск, оценка, качественный метод, матрицы риска, количественный метод.*

***

Любая трудовая деятельность человека сопровождается воздействием на него опасных и вредных производственных факторов, которые впоследствии могут стать причиной несчастных случаев и профессиональных заболеваний.

На сегодняшний день, по данным Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, от 40-60% промышленных объектов нашей страны не отвечают санитарно-гигиеническим требованиям. В виду того, что существующая, на сегодняшний день, нормативно-техническая база в области обеспечения безопасных условий труда не позволяет определить вероятность нанесения ущерба состоянию здоровья и жизни человека, необходима разработка единой, универсальной методологии определения взаимосвязи между условиями труда и состоянием здоровья работников. Выходом из сложившейся ситуации должно стать внедрение понятия профессионального риска, как универсального инструмента в обеспечении безопасных условий труда.

Профессиональный риск – вероятность повреждения (утраты) здоровья или смерти, связанная с исполнением обязанностей по трудовому договору (контракту) и в иных установленных законом случаях[1].

Внедрение в структуру обеспечения безопасных условий труда, оценки профессиональных рисков позволит решить следующие задачи:

− получение научно-обоснованных данных о фактическом уровне риска для здоровья работника в зависимости от реальных условий труда;

− коррекция гигиенических нормативов;

− разработка систем и средств коллективной и индивидуальной защиты и оценка их эффективности;

− принятие обоснованных решений для снижения риска (защита здоровья работника);

− обоснования и расчет страховых платежей, надбавок и скидок в системе обязательного социального страхования;

− ранжирование организаций по уровню риска [1].

На сегодняшний день существует огромное количество различных методов и схем оценки профессиональных рисков, которые имеют свои преимущества и недостатки, и используются в зависимости от специфики поставленных задач и имеющейся информации [2]. Классификация основных методов оценки профессиональных рисков представлена на рисунке 1.

[1] Федеральный закон от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».

Рис. 1. Классификация методов оценки профессиональных рисков

Рассмотрим более подробно качественные и количественные методы оценки профессиональных рисков.

Качественные методы оценки предназначены для определения потенциальных угроз и видов опасностей. Данные методы базируются на «матрицах риска», при использовании, которых полученный результат носит достаточно субъективный характер.

Наиболее известным из качественных методов оценки рисков является так называемая «Матрица для качественной оценки рисков по пятибалльной системе». Данная системы разработана в Технологическом университете Тампере, Финляндия, применяется на предприятиях с простыми технологическими процессами [3]. Суть данного метода отражена в таблице 1.

Степень риска будет определять необходимые мероприятия.

Существует также метод качественной оценки и управления профессиональными рисками, финансовыми рисками, рисками различного рода аварий, рисков рабочей среды и т. д., который предложен национальной администрацией аэронавтики и космоса США NASA.

Таблица 1

Матрица качественной оценки рисков

| **Возможность риска** | **Последствия риска** | | |
|---|---|---|---|
| | **Мало опасен** | **Опасен** | **Очень опасен** |
| Невозможен | Незначительный риск (1) | Приемлемый риск (2) | Терпимый риск (3) |
| Маловероятен | Приемлемы риск (2) | Терпимый риск (3) | Значительный риск (4) |
| Возможен | Терпимый риск (3) | Значительный риск (4) | Недопустимый риск (5) |

Рис. 2. Схема управления рисками, предложенная NASA

Таблица 2

Последствия реализации опасностей

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Последствия** | ***Что является Последствиями (издержки, планирование или техника) в данном Риске*** | | | | | |
| | **Степень** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| | **Издержки** | Влияет минимально или мало (менее 10000 $) | Увеличение бюджета до 1 млн. $ | Увеличение бюджета от 1 млн. $ до 10 млн. $ | Увеличение бюджета от 10 млн. $ до 50 млн. $ | Увеличение бюджета более чем на 50 млн. $ |
| | **Планирование** | Минимально или не влияет | Необходимы дополнительные мероприятия | Выполнение 1-ой или 2-ой степени плана задерживается менее чем на 1 месяц | Выполнение 1-ой или 2-ой степени плана задерживается более чем на 1 месяц. Проект критический | Запланированный проект не может быть выполнен |
| | **Техника** | Минимально или не влияет | Небольшое вложение средств | Среднее вложение средств | Большое вложение средств | Недопустимое вложение средств. |

Обоснования последствий для данного подхода:

– расходы определены в долларах, которые необходимы для уменьшения риска. Это не расходы, появившиеся из-за последствий риска (несчастный случай, авария оборудования и т.п.);

– планирование: 2-я степень устанавливает дату поставки (аппаратуры, амуниции и т.п.), 1-я степень относится к дате начала процесса (запуск оборудования, технологии, и др.);

– в определение техники входит все, что не является расходами и планированием (средства защиты, программное обеспечение, технологические процессы и т.п.);

– степени риска подчиняются закону: Риск = Вероятность × Последствия [4].

Основным недостатком качественных методов оценки рисков является отсутствие возможности определить вероятность и последствия наступления неблагоприятных событий. Поэтому широкое применение нашли количественные методы оценки, которые дают конкретные значения, что позволяет сравнивать их между собой, не зависимо от происхождения и негативного проявления рисков.

В основе количественной оценки рисков лежат математические методы, которые основываются на теории вероятности, различного рода алгоритмах, эмпирических коэффициентах, функциях.

Применение данных методов сопровождается привлечением достаточно большого количества подготовленных специалистов, что позволяет получить независимые, количественно-выраженные значения. Таким образом, полученные результаты будут более объективны в отличие от качественных методов оценки. Основным же недостатком является высокая трудоемкость.

Наиболее известными количественными методами оценки являются методы, в основе которых лежит следующая математическая зависимость:

$$R_i=\Sigma_i P_i \times X_i \quad (1)$$

где $P_i$ - вероятность того, что наступит нежелательное событие $X_i$ [5].

Также существуют и другие методы, например, метод «Симуляция Монте-Карло», который используется в случаях, когда необходимо определить максимальную вероятность или достоверность риска. Суть метода заключается в определении стохастических параметров при выборе случайных чисел. Вследствие чего получаются различные числа Монте-Карло, которые и будут давать характеристику возможности отдельных этапов.

В настоящее время на основе существующих количественных методов оценки стали разрабатывать компьютерные программы («ASSESSOR», «ErgoEaser»), которые значительно упрощают математическую обработку данных. Тем самым делая процесс менее трудоемким, более точным.

Таким образом, оценка профессиональных рисков является достаточно сложным процессом, требующая детального исследования и комплексного подхода. Какой из видов методов оценки профессиональных рисков будет лежать в основе данного подхода однозначно ответить нельзя. Несмотря на явный перевес в сторону количественных методов, качественные методы просты в использовании, не требуют глубокого анализа имеющейся информации, обладают низкой стоимостью. Но, тем не менее, количественные методы позволяют определить степень риска, что значительно повышает эффективность функционирования системы управления профессиональными рисками. Поэтому необходима выработка единой, комбинированной методологии, которая включала бы в себя универсальные элементы качественных и количественных методов оценки профессиональных рисков, с последующим созданием компьютерной программы.

**Список литературы**

1. Федорович Г.В. О системе оценки профессионального риска // Аппаратура и новости радиационных измерений. 2010. №4.

2. ГОСТ Р 12.0.010-2009. Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков. М., 2009.

3. Booth, B. Practical Risk Assessment // Tampere University of Technology, Occupational Safety Engineering Seminar. 1994. 14 pp.

5. Калькис В., Кристиньш И., Роя Ж. Основные направления оценки рисков рабочей среды. Рига, 2005. 74 с.

6. Федорец А.Г. Методические основы количественного оценивания производственных рисков// Энергобезопасность в документах и фактах. 2008. №2.

*Получено 05.07.12*

**V.M. Popov,** Candidate of Sciences, Professor**,** Southwest State University (Kursk)
(tel: (4712) 50-48-29)

**V.V. Yushin,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)
(e-mail: ushinvv@mail.ru)

**M.A. Kamardin,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kamardinma@yandex.ru)

**ANALYSIS METHODS, PROFESSIONAL RISK ASSESSMENT SCHEMES**

*A classification of the main methods of assessment of occupational risks. The analysis of existing qualitative and quantitative methods, occupational risk assessment schemes.*

***Key words**: professional risk assessment, qualitative method, the matrix of risk, quantitative method.*

---

УДК 658.382

**М.В. Томаков,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: tomakov_m_v@rambler.ru)

**ПОСТРОЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ КОРПОРАЦИИ В РАМКАХ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА**

*С методологических позиций системного подхода определен перечень и состав функций системы управления охраной труда и промышленной безопасностью (СУОТ и ПБ). Предложены основные направления действий по совершенствованию и развитию системы управления, повышению эффективности ее функционирования.*

***Ключевые слова**: охрана труда, система управления.*

***

В настоящее время все большее число работодателей понимает экономическую выгоду повышения безопасности и улучшения условий труда, значение этого фактора в имидже организации, привлечении и сохранении квалифицированных кадров, в возможности выхода на зарубежный рынок. Одна из серьезных проблем заключается в том, что действующая в настоящее время СУОТ и ПБ построена на принципах реагирования на страховые случаи, и в меньшей степени на принципах их предвидения и профилактики. Создание на предприятии службы охраны труда зачастую означает, что другие службы и подразделения не должны заниматься этой проблемой. Поэтому требуется перестройка СУОТ и ПБ, которой необходимо комплексно решать правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактиче-ские, реабилитационные и иные проблемы.

Эффективность СУОТ и ПБ будет зависеть от эффективности взаимодействия входящих в нее элементов, и здесь должен быть применён системный подход. Положение, которое составляет основу системного подхода, заключается в том, что система (целое) не только не детерминируется однозначно свойствами его элементов и не сводится к ним, но, напротив, сами элементы детерминируются целым и лишь в его рамках получают свое функциональное объяснение.

Системный подход не существует в виде строгой теоретической или методологической концепции: он выполняет свои эвристические функции, оставаясь совокупностью познавательных принципов, основной смысл которых состоит в соответствующей ориентации конкретных исследований. Эта направленность осуществляется двояко:

– содержательные принципы системного подхода позволяют фиксировать недостаточность старых, традиционных предметов изучения для постановки и решения новых задач;

– понятия и принципы системного подхода существенно помогают строить новые предметы изучения, задавая структурные и типологические характеристики этих предметов и т.о. способствуя формированию конструктивных исследовательских программ.

Роль системного подхода в развитии научного и практически-

ориентированного знания заключается в следующем. Во-первых, понятия и принципы системного подхода выявляют более широкую познавательную реальность по сравнению с той, которая фиксировалась в прежнем знании. Во-вторых, в рамках системного подхода разрабатываются новые по сравнению с предшествующими этапами развития научного познания схемы объяснения, в основе которых лежит поиск конкретных механизмов целостности объекта и выявление типологии его связей. В-третьих, из важного для системного подхода тезиса о многообразии типов связей объекта следует, что любой сложный объект допускает несколько расчленений. При этом критерием выбора наиболее адекватного расчленения изучаемого объекта может служить то, насколько в результате удается построить «единицу анализа», позволяющую фиксировать целостные свойства объекта, его структуру и динамику.

Исходя из системного подхода применительно к охране труда и промышленной безопасности, можно утверждать, что система не должна быть длительное время неизменной. Технологический прогресс и интенсивное давление конкуренции стремительно меняют условия труда, его процессы и организацию. Основное значение в регулировании этих процессов принадлежит законодательству, но этого недостаточно, чтобы направлять эти изменения или поспевать за новыми опасностями и рисками. Необходимо постоянно реагировать на динамично изменяющиеся условия производственных процессов и разрабатывать эффективные стратегии управления персоналом.

Системный подход означает построение всех процессов СУОТ и ПБ в виде четкой и логичной взаимосвязанной системы, когда блоки, образующие систему, имеют предельно четкое обозначение, назначение и функции, которые зафиксированы в документальной форме. Суть системы заключается еще и в том, что связи между блоками внутри системы всегда прочнее, чем связи каждого отдельного блока с некими элементами вне системы. Это означает, что система, если она действительно система, прочна и самодостаточна.

В 2007 году в одиннадцати странах СНГ был принят новый межгосударственный стандарт – ГОСТ 12.0.230-2007: «Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования» – который опирается на Руководство МОТ - СУОТ 2001. Этот стандарт обращен н*а* переход от проведения разрозненных ситуационных мероприятий по охране труда и промышленной безопасности к единой целостной системе СУОТ и ПБ. Стандарт вступил в силу с июля 2009 г. Методическую помощь оказывают международные стандарты OHSAS 18001:2007 «Система менеджмента профессиональной безопасности и здоровья. Спецификация» и OHSAS 18002:2008 «Руководство по выполнению OHSAS 18001».

В настоящее время вопросы охраны труда регламентируются Трудовым кодексом Российской Федерации, а промышленной безопасности − Федеральным законом от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Нормативный документ, устанавливающий общие требования к системе управления промышленной безопасностью, пока отсутствует. В определенной мере такая система просматривается в постановлении Правительства РФ от 10.03.1999 № 263 «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасном производственном объекте». Документ об организации СУОТ и ПБ на федеральном уровне не издавался, а в субъектах РФ такие системы создавались по собственным схемам, в т. ч. принимались региональные законы, определяющие отдельные функции органов местного самоуправления по государственному управлению охраной труда. В конечном счете, окончательное решение об организации СУОТ и ПБ на предприятии принимает его руководитель. Поэтому сохраняется исторически сложившееся разнообразие названий и разобщенность

служб, занимающихся вопросами охраны труда, промышленной безопасностью.

В одних случаях они называются отделом охраны труда и техники безопасности, в других − просто отдел охраны труда, иногда с добавлением какой-либо дополнительной функции, например, отдел охраны труда и надежности.

В настоящее время на ряде крупных российских предприятий стал использоваться системный подход (ЗАО «Северсталь-ресурс, ОАО «Московская объединенная электросетевая компания», ОАО «Раменский приборостроительный завод» и др.). На предприятиях стали создаваться единые службы охраны труда и промышленной безопасности (ОТ и ПБ). При этом возникает эффект эмерджентности, когда эффективность такой системы значительно выше, чем сумма эффективности элементов, входящих в нее, что в условиях рыночной мотивации этой деятельности дает соответствующий результат. Решается проблема с кадрами, повышается эффективность управления за счет решения общих вопросов и др. С методологических позиций комплексно определяется перечень и состав специальных функций (задач) управления в их непосредственной связи с функциональными подсистемами управления предприятием с установлением локальных целей работы, органов и критериев эффективности управления по каждой специальной функции. Единая служба ОТ и ПБ позволяет определить также состав и содержание основных функций управления охраной труда и промышленной безопасностью, которые выступают как специализированные этапы управленческой деятельности.

Элементы эффективной системы управления ОТ и ПБ можно представить в виде групп, взаимодействующих как между собой, так и с другими системами управления (качества, системы управления персоналом и т. п.).

1. Элементы руководства: наглядная приверженность руководства принципам ОТ и ПБ; политика в области ОТ и ПБ; ответственность руководства всех уровней за ОТ и ПБ.

2. Структурные элементы: интегрированная организация по ОТ и ПБ; специалисты в области ОТ и ПБ; эффективный обмен информацией; кадровые изменения.

3. Элементы производства: производственный контроль; рабочие инструкции, стандарты; мотивация в области ОТ и ПБ; аудиты системы, аудиты поведения, проверки; расследование и анализ реальных и потенциальных происшествий и нарушений правил ОТ и ПБ; качественное обучение по профессии и ОТ и ПБ.

4. Элементы процедур и установок: обеспечение качества; предпусковые проверки; работа с подрядчиками; надежность технических систем; управление изменениями на предприятиях.

5. Элементы технологии: информация о производственном процессе; управление изменениями в технологии; анализ рисков и управление рисками; план действий в чрезвычайных ситуациях.

Согласно системному подходу распределение элементов по группам относительное, так как каждый из них может относиться одновременно к той или иной группе. Группу можно дополнять иными элементами.

На каждом предприятии корпорации необходимо создать эффективную организационную структуру для управления процессами ОТ и ПБ – от руководства высшего звена до самого низшего уровня, которая должна быть интегрирована в общую систему управления и соответствовать линейной организации, включать каждого сотрудника и обеспечивать возможность регулярного обсуждения вопросов ОТ и ПБ в составе рабочих групп. Рабочие группы могут создаваться на каждом организационном уровне, и тогда в эту работу будут вовлекаться практически все работники предприятия − от директора до рабочего.

Эффективная система управления ОТ и ПБ должна иметь адекватную, полную, подробную и всестороннюю политику в области охраны труда и промышленной безопасности в соответствии с ГОСТ Р 12.0.230-2007, основным направлением которой является обеспечение

приоритета сохранения жизни и здоровья работников перед результатами хозяйственной деятельности корпорации.

Без такой политики поведенческие аспекты безопасности не будут в достаточной мере приняты во внимание, и безопасность отодвинется в сторону, когда другие производственные проблемы станут более неотложными. Важно, чтобы такая политика, однозначно определяющая принципы принятия решений в области ОТ и ПБ, получила эффективное распространение и была доведена до сведения каждого сотрудника через линейную организацию. Она должна активно пропагандироваться в качестве руководящего стандарта по управлению ОТ и ПБ в рамках всей корпорации.

Политика должна соответствовать характеру и масштабу рисков, увязываться с хозяйственными целями организации и включать в себя подписанное обязательство руководства по обеспечению постоянного улучшения условий труда и повышения его безопасности.

Политика включает в себя следующие ключевые принципы:

– обеспечение безопасности труда и охраны здоровья всех членов корпорации путем предупреждения связанных с работой травм, ухудшения здоровья, инцидентов;

– соблюдение соответствующих законов и правил по ОТ и ПБ, добровольных программ, коллективных соглашений по охране труда и других требований, которые корпорация обязалась выполнить;

– сотрудничество с местными органами исполнительной власти и негосударственными организациями;

– проведение эффективной экономической политики, стимулирующей создание здоровых и безопасных условий труда;

– гарантия привлечения работников и их представителей к активному участию во всех элементах СУОТ и ПБ;

– непрерывное совершенствование СУОТ и ПБ;

– расследование несчастных случаев, связанных с травмами, ухудшением состояния здоровья, болезнями и другими инцидентами, с учетом их воздействия на деятельность по обеспечению безопасности работников и охраны здоровья;

– внедрение передового отечественного и зарубежного опыта в области ОТ и ПБ, включая современные международные стандарты.

Для реализации политики руководства корпорации в области ОТ и ПБ определены следующие цели:

– работа без травматизма и аварий;

– исключение случаев профессиональных заболеваний;

– постоянное улучшение условий и безопасности труда, а также основные направления деятельности по достижению этих целей.

**Список литературы**

1. Блауберг И.В. Проблема целостности и системный подход. М.: Эдиториал УРСС, 1997. 448 с.

2. Карнаух Н.Н. Современный взгляд на систему управления // Справочник специалиста по охране труда. 2007. № 4. С. 12 – 15.

3. OHSAS 18001-2007. Система управления охраной труда и производственной безопасностью 2007-01-07. М.: OHSAS Project Group, 2007. 35 с.

*Получено 19.06.12*

**M.V. Tomakov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: tomakov_m_v@rambler.ru)

**IMPROVEMENT OF THE CONTROL SYSTEM FOR LABOUR PROTECTION AND INDUSTRIAL SAFETY OF THE CORPORATION**

*The list and composition of control functions for labour protection and industrial safety of the corporation have been defined from the point of view of system approach. There have also set main directions concerning actions for improvement and development of control system and rise of efficiency of its functioning.*

***Key words:*** *protection of labour; system approach.*

УДК 658.345

**Л.В. Шульга,** д-р мед.наук, профессор , Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.(4712)50-48-29)

**В.М. Попов,** канд. техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.(4712)50-48-29)

**А.А. Балдыч,** канд. мед. наук, доцент, ЦНИИ МО РФ (г. Вольск 18)

**В.В. Юшин,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.(4712)58-71-19)

**В.В. Протасов,** канд. хим. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: vladislav-prtasv@rambler.ru)

**А.Н.Барков,** Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.(4712)50-48-29)

# ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО ТЕПЛОСЪЕМА ДЛЯ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

*Статья посвящена обоснованию наиболее приемлемого распределения тепловой мощности системы активного теплосъема с организма человека, применяющего комплекс средств индивидуальной защиты в условиях повышенных температур окружающей среды.*

***Ключевые слова**: теплосъем, средства индивидуальной защиты, температура, окружающая среда, комплекс, человек, защита.*

***

Несмотря на совершенствование существующих промышленных предприятий, создание новых производств существенного снижения количества рабочих мест с неблагоприятными условиями труда не наблюдается. При этом следует подчеркнуть, что количество аварийных ситуаций на уже существующих предприятиях в силу материального износа оборудования постоянно возрастает [1]. Все это актуализирует проблему обеспечения безопасности персонала предприятий как в обычных условиях, так и при различных аварийных ситуациях.

Максимальная защита от всех неблагоприятных (опасных и вредных) факторов окружающей среды достигается при комплексном использовании средств защиты органов дыхания и кожных покровов. Однако при их использовании существенно снижается временной и температурный диапазон безопасной работы за счет изнуряющего влияния самих средств защиты на организм человека. Существенность функциональных сдвигов особенно велика при значительном притоке тепла извне.

Основными критериями при разработке современных СИЗ являются:

– надежность защиты человека от внешних неблагоприятных факторов;

– сохранение жизни и здоровья защищаемого;

– обеспечение заданного уровня работоспособности человека.

Если первый и частично второй критерий, в основном, относятся к инженерно-конструкторским задачам, то обеспечение заданного уровня работоспособности человека относится к проблемам физиологии и гигиены человека.

В физиологии труда диапазон температур выше зоны теплового комфорта рассматривается как потенциальный фактор накопления тепла в организме [2]. Результаты исследований влияния на организм человека климатических условий среды обитания, микроклиматических условий производственной среды, различных типов СИЗ позволили установить основные физиологические закономерности терморегуляции и теплообмена при неблагоприятных температурных воздействиях [3]. При этом было показано, что радикальное решение задачи поддержания теплового состояния человека на оптимальном уровне возможно лишь при применении систем искусственного терморегулирования.

Изучение теплосъемной эффективности систем активного теплосъема (САТ) различных типов показало, что сохранение теплового состояния на требуемом уровне при длительном использовании СИЗ возможно при применении как кондуктивных, так и вентиляционных (конвективных) систем термогомеостати-

рования [4, 5]. Однако вентиляционные САТ, несмотря на потенциально более низкую теплосъемную мощность, имеют ряд существенных преимуществ. В частности, они активизируют те же пути теплоотдачи, которые задействуются организмом при естественном теплообмене человека с окружающей средой, и, следовательно, являются физиологически адекватными. Кроме того, при равных функциональных характеристиках, вентиляционные системы термостатирования имеют меньшие массогабаритные характеристики, существенно проще по конструкции, не требуют использования дополнительных хладагентов, надежны и просты в обслуживании. За счет быстрой смены и наличия подпора воздуха такие системы повышают защищенность от вредных факторов, находящихся в воздушной среде и способных проникать в подкостюмное пространство, обеспечивают кондиционирование подкостюмного пространства, удаление из него избытка влаги, антропотоксинов.

Из изложенного следует, что система вентиляционного типа может рассматриваться как базовая для обеспечения оптимальных условий жизнедеятельности людей, применяющих СИЗ.

Для обоснования состава и исполнительных элементов системы активного теплоотвода в СИЗ необходимо решить следующие задачи:

– обосновать необходимую теплосъемную мощность САТ;

– обосновать параметры теплоносителя системы теплоотвода;

– разработать схемы отвода избытка теплоты из подкостюмного пространства.

Известно, что организм человека представляет собой термостатированную биологическую систему с внутренним источником теплоты, находящуюся в непрерывной связи с окружающей средой. В соответствии с первым законом термодинамики в условиях незатрудненной теплоотдачи количество теплоты, вырабатываемое организмом человека, соответствует количеству теплоты, отдаваемому во внешнюю среду:

$$\Delta Q = Q_т - Q_и \pm Q_р \pm Q_к \pm Q_п \pm Q_{дых} = 0, \quad (1)$$

где $\Delta Q$ - изменение теплосодержания организма, Вт; $Q_т$ – теплопродукция организма человека, Вт; $Q_и$ – теплоотдача с поверхности тела испарением, Вт; $Q_р$ – теплоотдача с поверхности тела излучением, Вт; $Q_к$ – теплотдача с поверхности тела конвекцией, Вт; $Q_п$ – теплоотдача с поверхности тела за счет теплопроводности, Вт; $Q_{дых}$ - теплоотдача при дыхании, Вт.

При этом элиминация теплоты различными путями распределяется следующим образом: излучением - 44%, конвекцией - 31%, испарением - 22%, теплопроводностью - 2%, дыханием - 1%.

Из выражения (1) следует, что тепловой баланс человека определяется, с одной стороны, количеством отведенной или накопленной экзогенной теплоты, с другой - уровнем теплопродукции. Известно, что у человека в зависимости от характера движения и массы сокращающихся мышц коэффициент полезного действия колеблется от 10 до 25% и составляет в среднем 15 - 20% [2]. Следовательно, около 80% энергии, затрачиваемой при мышечной деятельности, превращается в теплоту и отводится во внешнюю среду или идет на изменение теплосодержания организма. В условиях нагревающего климата, вследствие уменьшения градиента температур между поверхностью тела человека и окружающей средой, соотношение между различными путями теплоотдачи изменяется. Анализ теплового баланса организма специалистов, применяющих СИЗ в различных температурных условиях, позволил установить, что наиболее значимыми его составляющими являются эндогенная теплота, радиационный и конвективный теплообмен и потоиспарение [6] . С учетом этого выражение (1) можно записать в следующем виде:

$$\Delta Q = Q_т - Q_п \pm Q_р \pm Q_К .$$

По имеющимся литературным данным, работа специалистов, применяющих СИЗ, характеризуется энерготратами от 250 до 650 Вт. При этом теплопродукция будет изменяться в диапазоне 217...560 Вт. Однако следует учесть, что высокоэнергетические виды деятельности характерны, прежде всего, при работах в чрез-

вычайных (аварийных) ситуациях. Повседневная производственная деятельность характеризуется физической работой со средними энерготратами около 390 Вт. При этом теплопродукция организма человека составит в среднем 330 Вт. Данная величина характерна для эксплуатации СИЗ в диапазоне +22…26°С. При выполнении производственных задач при температуре воздуха рабочей зоны + 40°С теплопродукция возрастает до 440 Вт. Следовательно, теплосъемная мощность системы активного теплоотвода должна составлять не менее 440 Вт.

Количество теплоты, отводимое САТ с воздухом, может быть рассчитано по формуле

$$Q_В = \Delta I_В V_В \rho_В, \quad (2)$$

где $Q_В$ – количество отводимой теплоты, Вт; $\Delta I_В$ – прирост теплосодержания подаваемого воздуха, кДж/кг; $V_в$ – объемный расход подаваемого воздуха, м /ч; ρ – плотность воздуха, кг/м.

Преобразовав формулу (2), получаем выражение для расчета объемного расхода подаваемого в подкостюмное пространство воздуха

$$V_В = Q_В /(\Delta I_В \rho_В).$$

Для поддержания теплового состояния организма человека на оптимальном уровне количество накопленной эндогенной и экзогенной теплоты должно соответствовать количеству теплоты, отведенной во внешнюю среду. Следовательно, $Q_В = Q_т + Q_н$, где $Q_н$ – радиационно-конвективный теплоприток, Вт.

Экспериментальные исследования макетных образцов САТ в условиях, моделирующих работу при температуре +40°С и относительной влажности 20% , и последующие расчеты показали, что объемный расход подаваемого в подкостюмное пространство воздуха должен составлять не менее 340 л/мин. Снижение температуры подаваемого в подкостюмное пространство воздуха уменьшает необходимый расход. В частности, при температуре подаваемого воздуха 30°С эта величина составляет 275 л/мин, а при температуре 20°С – 220 л/мин.

Указанный расход воздуха обеспечит поддержание теплового состояния организма человека при 100%-ной эффективности системы активного теплоотвода. В реальных условиях, в силу конструктивных недостатков и ограничений, конвективный теплообмен не превышает 60 - 80% от потенциального. С учетом того, что доля конвективного теплообмена вентилируемых систем составляет около 30 %, объемный расход воздуха необходимо увеличить в среднем на 9 %. Отсюда следует, что для обеспечения оптимального уровня теплового состояния организма человека расход подаваемого в подкостюмное пространство воздуха должен составлять 370 л/мин при его температуре 40°С, до 300 л/мин - при 30°С и до 240 л/мин - при 20°С.

Актуальным является вопрос об оптимальном отношении величин теплосъема с различных участков тела человека. В литературе имеются противоречивые данные по распределению теплосъемной мощности систем термостатирования[1]. Так, согласно одним выводам, предпочтительнее теплосъем с головы и туловища, согласно другим – с верхних и нижних конечностей. В связи с этим были проведены исследования, направленные на обоснование разработки основных принципов распределения теплосъемной мощности САТ. При этом исходили из того, что тепловой баланс САТ адекватно описывается следующим выражением:

$$Q_Х = Q_Т + Q_Н – Q_и + Q_{ком} - \Delta g - \Delta Q, \quad (3)$$

где $Q_Х$ - общая теплосъемная мощность САТ, Вт; $Q_Т$ - теплопродукция организма человека, Вт; $Q_Н$ -теплоприток из внешней среды через комплект средств индивидуальной защиты, Вт; $Q_и$ - теплоотвод потоиспарением, Вт; $Q_{ком}$ - теплоприток из внешней среды в коммуникации САТ, расположенные на одежде, Вт; $\Delta g$ - скорость прироста теплосодержания деталей, расположенных под костюмом, Вт; $\Delta Q$ - скорость прироста теплосодержания тела человека, Вт.

Полезная теплосъемная мощность САТ, Вт,

$$Q_{ХП} = Q_Х - Q_{ком}. \quad (4)$$

[1] Отчет о НИР/ВНИИГД. Инв. № Б464728. Отв. исп. Диденко Н.С. и др. - Донецк

Входящие в уравнение (3) величины $\Delta g$ и $\Delta Q$ могут быть как положительными, так и отрицательными. Однако при разработке САТ их следует приравнять к нулю, чтобы не закладывать в конструкцию системы условия дискомфорта. С учетом равенства нулю величин $\Delta g$ и $\Delta Q$ после подстановки в формулу (4) значения $Q_X$ из выражения (3) получаем:

$$Q_{ХП} = Q_Т + Q_Н – Q_И.$$

Общий теплосъем из подкостюмного пространства $Q_С$ обеспечивается системой искусственного терморегулирования и теплоотвода путем испарения пота:

$$Q_С - Q_Н + Q_И$$

или

$$Q_С - Q_Т + Q_Н.$$

Для каждого же участка подкостюмного пространства теплосъем определяется долей теплоты, выделяемой определенной частью тела человека, и долей теплоты, проникающей из внешней среды через тот участок защитной одежды, который защищает данную часть тела. Следовательно, теплосъем с определенного участка подкостюмного пространства

$$Q_{СУ} = Q_Т (n/100) + Q_н(S/100),$$

где $Q_{СУ}$ – теплосъем с участка подкостюмного пространства, Вт; n – теплопродукция части тела, %; S – площадь поверхности участка средства индивидуальной защиты, %. Относительный теплосъем с данного участка подкостюмного пространства, %,

$$Q_{ОТН} = (Q_{СУ} / Q_С) \cdot 100.$$

На основании полученных в ходе экспериментальной оценки физиологических показателей состояния организма испытателей, физико-гигиенических характеристик СИЗ и параметров микроклимата расчетным путем было установлено, что наиболее приемлемым является следующее распределение теплосъемной мощности САТ:

– для головы - 15%;
– для туловища - 25%;
– для ног - 46%;
– для рук - 14%.

**Список литературы**

1. Акимов В.А. Катастрофы и безопасность. М.: Деловой экспресс, 2006. 392 с.

2. Кощеев В.С., Кузнец Е.И. Физиология и гигиена индивидуальной защиты в условиях высоких температур. М.: Медицина, 1968. 256 с.

3. Физиологические критерии оценки теплового состояния человека в условиях нагревающего микроклимата / С.М. Городинский, Г.В. Бавро [и др.]. //Медико-технические проблемы индивидуальной защиты человека. М.: Медицина, 1972. Вып. 10. С. 3-9.

4. Савченко Н.В. Некоторые способы жизнеобеспечения работающих в условиях повышенных температур // Надежность и качество в промышленности, энергетике и на транспорте: тр. Междунар. конф. Самара, 1999. С. 303-305.

5. Проблемы исследования естественной конвекции под одеждой / М.В. Родичева, А.В. Уваров, А.В. Абрамов, Ю.Н. Некрасов // Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты. 2006. № 1(32). С. 24-26.

*Получено 25.06.12*

**L.V. Shulga,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)

**V.M. Popov,** Candidate of Sciences, Professor**,** Southwest State University (Kursk)

**A.A. Baldih,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)

**V.V. Yushin,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)

**V.V. Protasov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: vladislav-prtasv@rambler.ru)

**A.N. Barkov,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)

**PHYSIOLOGICAL BASES OF DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF ACTIVE TEPLOSJEM FOR THE COMPLEX OF MEANS OF INDIVIDUAL PROTECTION**

*Article is devoted to justification of the most acceptable distribution of thermal capacity of system active теплосъема from the human body applying a complex of means of individual protection conditions of increased ambient temperatures.*

***Key words:*** *teplosjy, means of individual protection, temperature, environment, complex, person, protection.*

# ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 542.943:546.15:544.463

**С.Д. Пожидаева,** канд. хим. наук, доцент**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) **(**e-mail: pozhidaeva_kursk@mail.ru)

**А.Ю.Елисеева,** аспирант**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) **(**e-mail: eay-29@rambler.ru)

**А.М. Иванов,** д-р хим. наук, профессор**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) **(**e-mail: fhht@pochta.ru)

## КОРРОЗИОННОЕ ПОРАЖЕНИЕ МЕДИ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ СУЛЬФАТА МЕДИ (II) В ПРИСУТСТВИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ЙОДА

*Изучена кинетика коррозионного поражения меди в водном растворе сульфата меди (II) и молекулярного йода в качестве окислителей металла. Установлено, что данный процесс начинается с максимальной скоростью, которая постепенно уменьшается, приближаясь к величине в отсутствие молекулярного йода в исходной загрузке. Прослеживается связь этого явления с перемещением доминирования окисления йодида меди (I) с поверхности металла в объемную фазу. Присутствие серной кислоты в исходной загрузке приводит к некоторому замедлению коррозионного поражения металла, эффективность которого является сложной функцией концентрации кислоты.*

***Ключевые слова**: медь, коррозионное поражение, водный раствор, сульфат меди (II), серная кислота, молекулярный йод; йодид меди (I), кинетика процесса, средняя скорость, динамика изменения во времени, циклическая макростадия, состав твердых фаз, факторы воздействия на процесс.*

***

Известно [1], что сульфат меди (II) относится к весьма посредственным окислителям меди. В то же время с точки зрения коррозионного поражения металла среднюю скорость 1,03 моль/(кг·исходной меди·час) нельзя отнести к пренебрежимо малой. Представляло интерес выяснить, как эту скорость можно существенно изменить в ту или иную стороны и какие факторы воздействия важно учитывать в практических ситуациях.

Ранее было выяснено, что существенному повышению расходования металла (марганца [2-5, 8, 9], железа [2, 5-8] и свинца [2, 5, 8]) при его контакте с кислыми реагентами способствуют добавки галогенов, в частности йода и брома. Казалось целесообразным определить, как такая добавка будет влиять на рассматриваемый процесс. Ясно, что это дополнительный окислитель для металла, который приведёт к системе конкурирующих реакций с участием металла, результат чего на данный момент времени предсказать практически невозможно.

Эксперимент проводили в соответствии с пооперационной схемой (рис. 1). В дополнение к ней в фильтрате определяли содержание свободного и связанного йода. Эти же определения выполняли и с твёрдыми фазами получаемых реакционных смесей.

Как следует из рис. 2, добавка йода в реакционную смесь приводит к существенному расходованию металла, причём сама средняя скорость является функцией длительности процесса $\tau$ (кривая 2). Убывание её с ростом $\tau$ свидетельствует о том, что суммарный процесс расходования металла в таких условиях протекает с самоторможением, что хорошо подтверждается и данными рис. 3, а также имеющимися в литературе сведениями [10].

Действительно во времени количество израсходованной меди на моль введённого йода ($\Delta Cu / n_{0_{J_2}}$) описывается кривой типа запределивания. Уменьшение скорости расходования металла с ростом длительности процесса (кривые 2 рис. 2 и 1 рис.4) можно связать с двумя факторами: 1 – с количеством свободного и связанного (в основном второго) йода в отделяемой твёрдой фазе реакционной смеси (кривая 2 рис.3, также напоминающая начальный ход кривой запределивания, но сдвинутой во времени от начала координат), а также 2 - с автоускоренным накоплением поверхностных отложений (кривая 3 рис.3) и их составом.

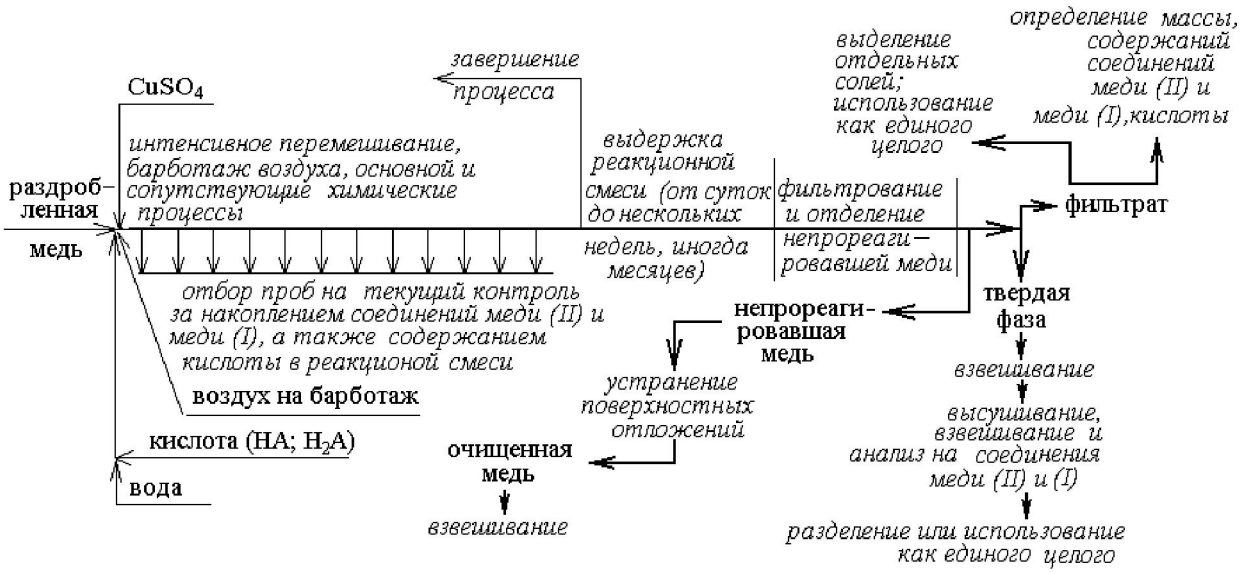



Рис. 1. Пооперационная схема проведения процесса

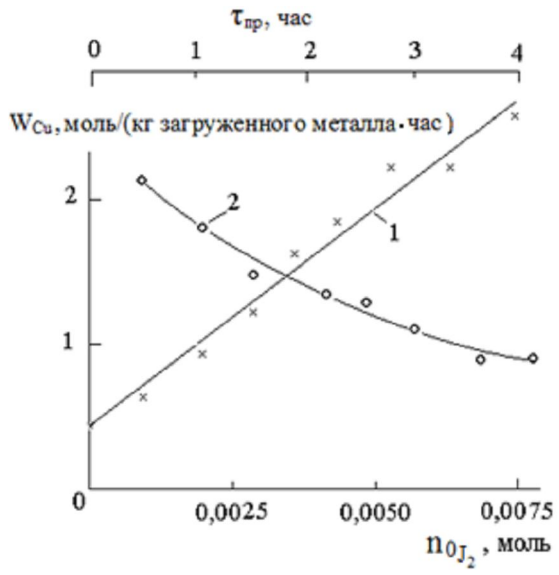



Рис. 2. Средняя скорость расходования меди в зависимости от величины начальной добавки молекулярного йода (длительность процесса 1 час) (1) и длительности окислительно-восстановительного процесса при $X_{0_{J_2}}$ = 0,0045 моль (2); начальная загрузка: сульфат меди 0,03 моль, гидрокарбонат натрия 0,03 моль, масса воды до 60 г, масса раздробленной меди 5 г, масса стеклянного бисера 60 г, скорость вращения мешалки 1560 об/мин, начальная температура 20 ± 1 ºС

Вначале поверхностных отложений мало. Образующийся по реакции

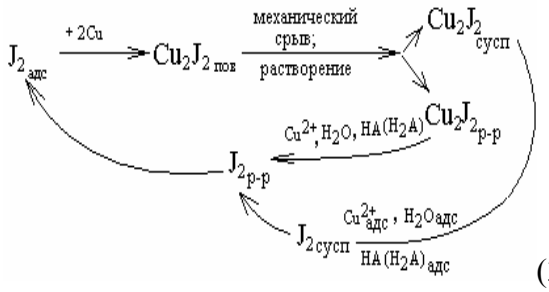
$$2Cu + J_2 \rightarrow Cu_2J_2 \qquad (1)$$

иодид меди (1) быстро окисляется адсорбированными ионами $Cu^{2+}$ с образованием соединений Cu (I) и молекулярного йода, который сразу же реагирует с металлом, приводя к $Cu_2J_2$ как основному продукту. В итоге на поверхности металла функционирует циклическая макростадия в гетерогенном исполнении

Эффективность макростадии (2) ослабляет срыв и переход в объемную фазу поверхностного $Cu_2J_2$ индивидуально или же совместно с соединениями меди (I) (продуктами превращения $Cu^{2+}$ как окислителя), которые, в свою очередь, могут окисляться молекулярным кислородом в соединения меди (II). Последние в отдельных случаях также могут окислять $Cu_2J_{2пов}$ с образованием молекулярного йода.

Ушедший с поверхности $Cu_2J_2$ в виде суспендированных частиц также способен окисляться ионами (соединениями) меди (II), при этом образующийся йод переходит уже в жидкую фазу, а из неё затем адсорбируется на поверхности меди, вступает во взаимодействие с ней с образованием $Cu_2J_2$

и цикл фактически повторяется. Схематически это выглядит так



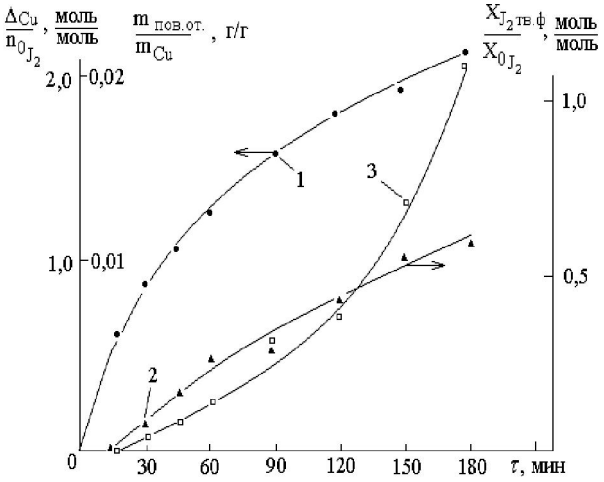




Рис. 3. Количество расходовавшейся меди на моль загруженного йода (1), доля йода, определяемого в твёрдой фазе реакционной смеси (2) и количество поверхностных отложений на меди (3) в зависимости от длительности протекания процесса в присутствии 0,03 моль $H_2SO_4$ вместо $NaHCO_3$ и прочих условиях подписи к рис. 2

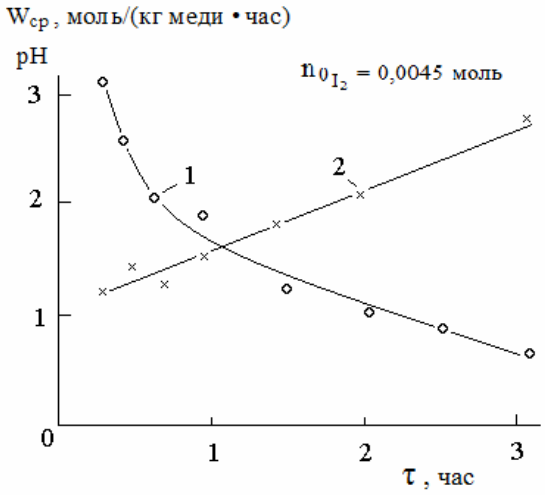
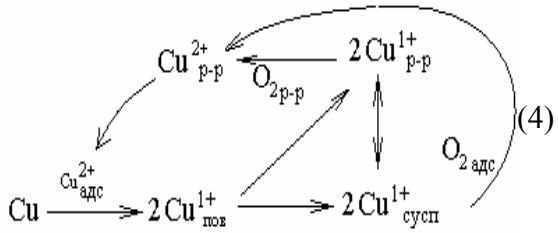



Рис. 4. Средняя скорость расходования меди (1) и pH фильтратов конечных реакционных смесей (2) по ходу процесса, проводимого в условиях в подписи к рис. 3

Схема (3) в сравнении с (2) гораздо более длинная и сложная. Поэтому частичная замена схемы (2) на схему (3) воспринимается как определённое замедление рассматриваемого процесса. К тому же это во времени сопровождается ростом массы поверхностных отложений, что уменьшает величину рабочей поверхности металла как реагента и как следствие скорость процесса.

Присутствие йода в реакционной смеси не исключает и прямое взаимодействие меди с соединениями (катионами) меди (II)




Из всех рассмотренных схем скорость расходования металла по схеме (4) в выбранных условиях самая малая. Именно к ней стремится окислительно - восстановительный процесс после того, как схемы (2) и (3) исчерпают свои возможности. Обращает на себя внимание кривая 2 (рис.4); с ростом длительности процесса pH жидких фаз конечных реакционных смесей возрастает, причём довольно сильно. Создаётся впечатление, что кислота (в данном случае серная) расходуется в окислительно-восстановительном процессе. Это предопределило необходимость получения характеристик роли этого фактора в большем объёме. Некоторые из них представлены на рис. 5.

Хорошо видно, что по количеству вводимой кислоты в исходную загрузку средняя скорость расходования меди проходит через минимум, причём наивысшая скорость достигалась, когда кислота не вводилась совсем. Интересно то, что при прекращении последнего процесса количество поверхностных отложений на металле было максимальным, количество находящейся в твёрдой фазе связанного йода было минимальным, а pH жидкой фазы конечной реакционной смеси около 4. Последнее свидетельствует о том, что в

данной системе образуется кислота. Одним из вариантов этого может быть

$$2\,Cu^{1+} + H_2O \rightarrow Cu_2O + 2H^+ \quad (5)$$

или

$$Cu_2SO_4 + H_2O \rightarrow Cu_2O + H_2SO_4 \quad (6)$$

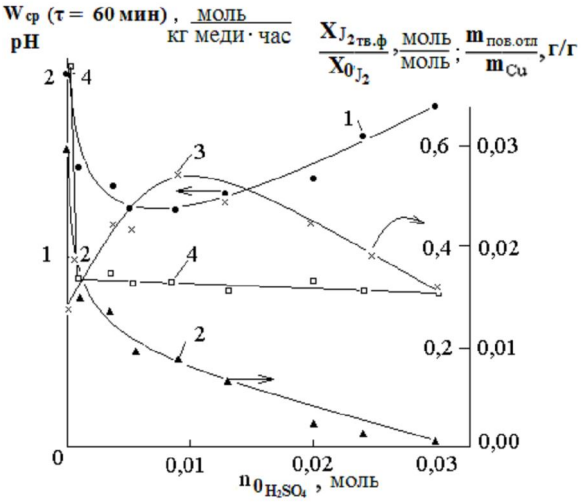



Рис. 5. Средняя скорость расходования меди в течение первых 60 мин развития окислительно-восстанови-тельного процесса (1), количество поверхностных отложений на металле при прекращении процесса (2), количество связанного йода в твёрдой фазе реакционной смеси (3) и pH фильтратов конечной реакционной смеси (4) в зависимости от начального содержания серной кислоты в исходной загрузке процесса, проводимого в условиях в подписи к рис.3

Что же касается расходования кислоты, то оно может проходить по реакциям

$$Cu_2O + H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow CuSO_4 + Cu + H_2O \quad (7)$$
$$Cu_2SO_4 + H_2SO_4 + 0{,}5\,O_2 \rightarrow$$
$$\rightarrow 2CuSO_4 + H_2O \quad (8)$$

К тому же следует иметь в виду довольно высокую начальную концентрацию сульфата меди (II) (0,6 моль/кг), что снижает степень диссоциации вводимой серной кислоты. Всё это предопределяет pH конечных реакционных смесей много больше расчётных значений и весьма слабую зависимость по концентрации вводимой серной кислоты (рис. 5).

С ростом $X_{0_{H_2SO_4}}$ содержание поверхностных отложений на металле падает (кривая 2 рис.5), в пределе стремясь к ничтожно малым значениям. Это можно расценить как свидетельство того, что присутствие $H_2SO_4$ облегчает удаление поверхностных отложений с меди. Что же касается относительного ухода йода в суспендированную твёрдую фазу, то оно проходит через максимум при начальной концентрации серной кислоты ~0,16 моль/кг. Всё это характеризует данный процесс как очень сложный и плохо поддающийся эффективному управлению.

Интересную и в целом коррелирующую с рассмотренными выше положениями информацию можно получить при анализе содержания соединений меди (II) и (I) в высохших твердых фазах реакционных смесей. В зависимости от длительности протекания процесса эти данные представлены на рис. 6. Хорошо видно, что функции $X_{Cu^{2+}} = f(\tau)$ и $X_{Cu^{1+}} = f'(\tau)$ экстремальные с максимумами, приходящимися на 30 и 90 мин. Обращает внимание аномально большое содержание соединений $Cu^{2+}$ в точке максимума. Частично соединения $Cu^{2+}$ попадали в твердую фазу с захваченной при фильтровании жидкой фазой реакционной смеси. Оценка этого количества показывает, что оно не может превысить и половины от максимального значения. Остальное, скорее всего, образуется при окислении соединений Cu(I) при высыхании твердой фазы на воздухе. При этом скорость последнего существенно зависит от количества захваченной жидкой фазы, являющейся функцией длительности процесса (кривая 3 рис. 6). Не исключено, что в данном вопросе важную роль играет содержание $Cu_2J_2$ в отфильтрованной твердой фазе: чем оно меньше, тем быстрее содержащие $Cu^{1+}$ -продукты окисляются воздухом в соединения меди

(II). Возможно именно с этим связаны аномально низкие, в отдельных случаях близкие к $X_{Cu_2J_2тв.ф}$ значения содержаний меди (I) при длительностях процесса до 60 мин.

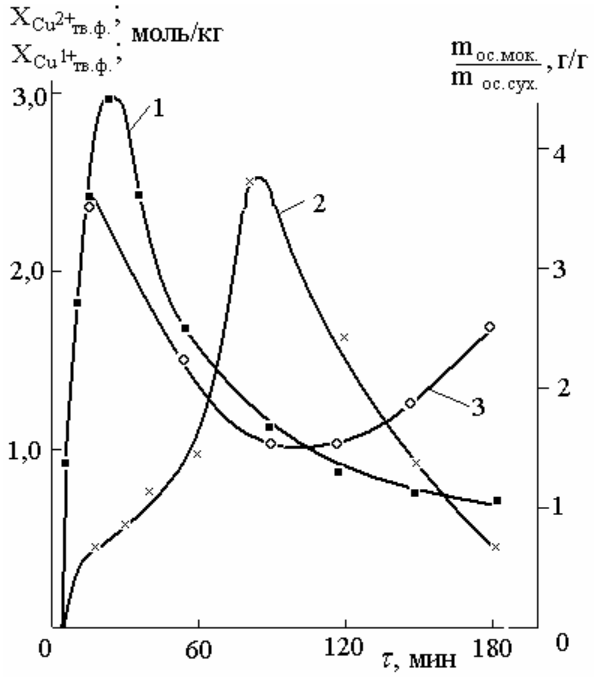



Рис. 6. Содержания соединений меди (II) (1) и меди (I) (2) в высохших на воздухе твердых фазах реакционных смесей, а также соотношение масс только что отфильтрованных твердых фаз реакционных смесей и после их высыхания на воздухе (3) в зависимости от длительности проводимого процесса в условиях в подписи к рис. 3

В заключение следует отметить:

1. В водном растворе сульфата меди (II) в присутствии молекулярного йода коррозионное поражение меди в начальном периоде протекает с максимальной скоростью и во времени ослабевает, стремясь к величине, наблюдаемой для процесса в идентичных условиях, но в отсутствии стимулирующей добавки молекулярного йода. Такая зависимость скорости коррелирует с накоплением йодида меди (I) ($Cu_2J_2$) в твердой фазе системы, что существенно снижает эффективность функционирования циклической макростадии с участием галогена.

2. Основными продуктами коррозионного поражения меди являются соединения меди (I), которые как на поверхности металла, так и в растворе и в суспендированном состоянии окисляются кислородом воздуха с образованием соединений меди (II), выступающими в качестве окислителей не только йодида меди (I) с выделением молекулярного йода и возвращением последнего в цикл, так и самого металла.

3. Рассматриваемый процесс сопровождается накоплением небольших количеств кислоты. Дополнительный ввод серной кислоты в исходную реакционную смесь приводит к некоторому снижению скорости расходования металла, которая по концентрации кислоты проходит через минимум

**Список литературы**

1. Циклическая макростадия в механизме низкотемпературного гетерогенного гетерофазного окисления меди при её контакте с кислыми растворами солей меди (II) / С.Д. Пожидаева, А.М. Иванов, А.Ю. Елисеева, Д.А, Сотникова// Veda a: krok do budoucnosti-2012: сб. матер. Междунар. науч. – практ. конф. Прага,2012. С. 45-48.

2. Иванов А.М., Пожидаева С.Д. Использование бисерной мельницы для предотвращения и преодоления самопрекращения окислительно-восстановительных и иных процессов с участием оксидов переходных металлов и практические решения на базе такого подхода. Курск, 2008. 328 с.

3. Механохимическое получение кабоксилатов марганца из металла и его оксидов / С.Д. Пожидаева, Т.А. Маякова, И.В. Афанасьева, А.М. Иванов// Химическая технология. 2010. № 6. Т.11. С. 324-334.

4. Пожидаева С.Д., Иванов А.М., Маякова Т.А. Некоторые характеристики взаимодействия металлического марганца с фенолами, спиртами и водой, а также их смесями между собой и с карбоновы-

ми кислотами в бисерной мельнице // ЖПХ. 2010. №.10. Т.71. С.1698- 1706.

5. Устойчивость металлов и их сплавов в неводных растворах карбоновых кислот и других кислых реагентов в присутствии окислителей и галогенсодержащих добавок в условиях механической активации поверхности / С.Д. Пожидаева, Т.А. Маякова, Е.В. Агеева, А.М. Иванов // Технология металлов. 2010. №1. С. 13-19.

6. Гречушников Е.А. Кинетические закономерности синтеза карбоксилатов железа в различных жидких средах и оптимизация выхода целевого продукта: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04. М., 2010. 20 с.

7. Иванов А.М. Гречушников Е.А. Влияние природы растворителя на взаимодействие металлического железа с бензойной кислотой в бисерной мельнице // Журнал прикладной химии. 2008. Т. 81. Вып. 4. С. 559-564.

8. Выбор растворителя для процессов получения карбоксилатов с использованием металлов и (или) их оксидов в качестве исходных реагентов / С.Д. Пожидаева, А.М. Иванов, Т.А. Маякова [и др.] // Известия Юго-Западного гос. университета. 2011. №.3 (36). – С.52- 60.

9. Пероксид марганца как окислитель во взаимодействиях марганца с карбоновыми кислотами в бисерной мельнице / С.Д. Пожидаева, А.М. Иванов, Т.А. Маякова [и др.] // Известия Юго-Западного гос. университета. 2012. №1(40). Ч. 1. С.229-235.

10. Соединения меди (II) в коррозионном поражении металла при его контакте с растворами кислых реагентов / С.Д. Пожидаева, Д.А. Сотникова, А.Ю. Елисеева, Т.А. Маякова [и др.] // Применение инновационных технологий в научных исследованиях: сб. матер. междунар. науч.-практ. конф. Курск, 2010. С.379-382.

*Получено 26.06.12*

**S.D. Pozhidaeva,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) **(**e-mail: pozhidaeva_kursk@mail.ru)

**A. Yu. Eliseeva,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
**(**e-mail: eay-29@rambler.ru)

**A.M. Ivanov,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
**(**e-mail: fhht@pochta.ru)

## THE CORROSION DESTRUCTION OF COPPER IN THE WATER SOLUTION OF SULPHATE OF COPPER (II) IN THE PRESENCE OF MOLECULAR IODINE

*The kinetic of corrosion destruction of copper in the water solution of sulphate of copper (II) and molecular iodine as metal oxidizers is studied . Is established, that this process begins with the maximum velocity. But this velocity decreases constantly to the velocity of the process proceeding without of molecular iodine in initial loading. It is established, that the reason of decreasing of velocity is consisting in the moving of process of oxidation iodide of copper (I) from the metal surface in to the volume phase. The presence of the sulfuric acid in the initial mixture is leading to some decreasing of corrosion destruction of metal. Is established, that efficiency of corrosion destruction of metal is the difficult function of concentration of acid.*

***Key words:*** *copper; corrosion destruction, water solution, sulphate of copper (II), sulfuric acid, molecular iodine, iodide of copper (I), kinetics of process, average velocity, dynamics of the changing in the time, cyclic macrostage, structure of the firm phases, the factors influencing on the process.*

УДК 674.816:547.535

**С.Г. Емельянов,** д-р техн. наук, профессор, ректор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: rector@swsu.ru)

**Ю.А. Миргород,** д-р хим. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: yu_mirgorod@mail.ru)

**В.М. Федосюк,** д-р физ.-мат.наук, генеральный директор ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению» (e-mail: fedosyuk@ifttp.bas-net.by)

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МЕЛКОГО ПОРОШКА ШУНГИТОВОГО МИНЕРАЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАГРЕВАНИЯ

*Методами рентгеноспектрального анализа, растровой электронной микроскопии, дифрактометрии, магнитометрии исследован мелкий порошок шунгитового минерала до и после нагревания (850К). Шунгитовая порода представляет собой твердую дисперсную систему, где есть микрообласти с разным содержанием микрофаз вплоть до почти индивидуальных Si, C, Fe.*

*Показано, что в мелком порошке при нагревании интенсивно протекают окислительно-восстановительные реакции. При нагревании/охлаждении можно увеличить удельную магнитную насыщаемость порошка с 0,01 до 0,07 А·м$^2$/кг (размерный эффект) .*

***Ключевые слова:*** *порошок, шунгитовый минерал, размерный эффект, структура, магнитные свойства.*

***

Шунгитовые породы являются природными композиционными минералами. Они состоят из углеродистого вещества (шунгита), кварца, слюды, карбонатов, оксидов железа и других металлов. Наибольшее распространение имеют шунгитовые породы III типа с содержанием углерода 30% (масс.). Зажогинское месторождение этих пород имеет промышленное значение и разрабатывается в настоящее время.

Огромные ресурсы (более 1 млрд. т) и возможности многоцелевого использования делают шунгитовые породы ценным сырьем для современных технологий. Их применяют в качестве пигментов, сорбентов, катализаторов, композиционных и защитных материалов от электромагнитного излучения.

Для приготовления материалов шунгитовую породу диспергируют. При этом изменяется реакционная способность системы, а в результате этого свойства материала.

Реакционная способность вещества определяется в термодинамическом методе изменением энергии Гиббса реакции. Она характеризует способность вещества перейти в другую фазу или вступить в химическую реакцию, указывает на удаленность данного состояния термодинамической системы от равновесного. Увеличение дисперсности вещества приводит к увеличению реакционной способности к отклонению системы от состояния равновесия. Размер частиц «исполняет роль» температуры, т.е. активирует частицы. Размер частиц такой же термодинамический параметр как давление, объем, температура системы.

В данной работе на примере шунгитового минерала исследован размерный эффект, т.е. как размер частиц влияет на реакционную способность шунгитовой породы и как по этой причине изменяются свойства минерала. В качестве активатора реакции выбрана температура, а изучаемого свойства – магнетизм шунгитовой породы. До нашего исследования установлено [1] значительное увеличение диамагнетизма в шунгитах, которое раньше не наблюдалось для природных углеродистых веществ, но было выявлено для допированных фуллеритов шунгита. Считается, что при температуре ниже 1300 $^0$С не наблюдается существенных признаков преобразования шунгитовых пород.

## Экспериментальная часть

Для исследования выбрана шунгитовая порода Зажогинского месторождения. Порода дробилась в лабораторных условиях на последнем этапе в агатовой ступке. В образце №1 частицы порошка минерала распределены по размерам в диапазоне 0,1-1000 мкм.

Размер частиц порошка и элементный состав порошков определяли на растровом электронном микроскопе с рентгеноспектральным анализатором LEO 1455 VP фирмы Carl Zeiss. В анализаторе узкий пучок (электронный зонд) диаметром 0,01 мкм сканирует поверхность порошка. Попадая в образец, электроны пучка выбивают электроны с оболочек атомов вещества, и вызывают рентгеновское излучение. Каждый элемент излучает на характерном для него наборе частот, и может быть по нему идентифицирован.

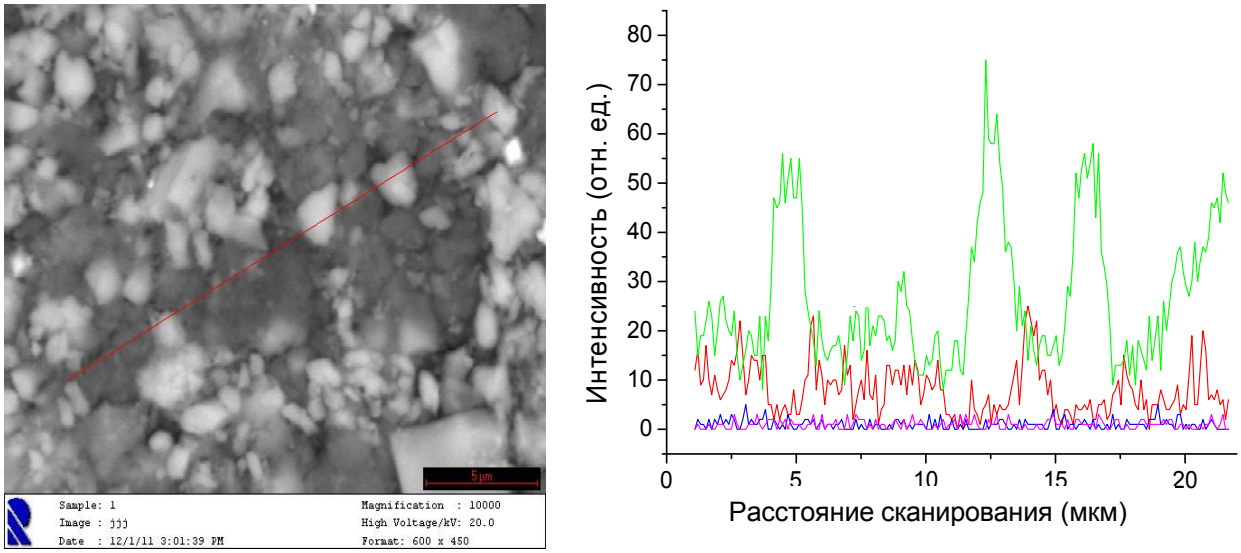
Идентификацию фаз в порошках осуществляли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М. Рентгеноструктурные исследования выполнены в Cu $K_\alpha$–излучении при ~ 300 К в режиме съемки по точкам. Время набора информации в точке $\Delta\tau$ = 3 s, шаг сканирования по углу $\Delta 2\theta = 0{,}03^o$.

Температурные зависимости удельной намагниченности ($\sigma$) и магнитной воспримчивости ($\chi$) порошка шунгита изучены пондеромоторным методом [2-4] в магнитном поле с индукцией B=0,86 Тесла. Чувстви-тельность установки к измерению величины $\chi$ составляет $10^{-11}$м$^3\cdot$кг$^{-1}$ при массе образца ≈2-3 г, а к $\sigma$ -удельной намагниченности 0,005 А$\cdot$м$^2\cdot$кг$^{-1}$ (Гс$\cdot$см$^3$/г) при массе образца ≈0,003 г. Термостат установки позволяет изучать зависимости $\chi$ = f(T) и $\sigma$=f(T) в условиях непрерывного режима измерений, без переустановки образца в диапазоне температур 77÷1400К [3]. Эксперимент по изучению зависимостей $\chi$ = f(T) и $\sigma$=f(T) на порошке минерала выполнен в интервале температур ~80-850 К. Использованы четыре режима при измерениях: 1) нагрев от ~80 до 820 К; 2) охлаждение от ~820 до ~80 К; 3) нагрев от ~80 до 850 К; 4) охлаждение от ~850 до ~300 К. Исследования проведены в атмосфере аргона для исключения окисления при высоких температурах деталей узла образца, самих образцов при открытой ампулке, термопар и т.п. Кроме того, аргон помогает быстрее выравнивать температуру на образце (стабилизировать по объёму образца).

**Результаты и их обсуждение**

На рис 1b показан пример эксперимента на рентгеноспектральном анализаторе, луч которого сканирует образец по линии, указаной на фото образца №1 (рис.1a). Представлена зависимость относительной интенсивности вторичного излучения, соответствующего содержанию элементов в микрообъемах (точках) по линии сканирования через 0,23 мкм. Выбрано распределение элементов C, Si, S, Fe. Остальные элементы не показаны. Содержание Si и C в минерале значительно меняется, хотя и является преобладающим по сравнению с другими элементами. Кроме Si и C порода содержит кислород и в небольших количествах - алюминий, калий, натрий, магний, серу, железо, титан. Содержание элементов в микрообъемах значительно меняется. Можно найти микрообъем с Si 90%, остальное Ti, Fe. Есть микрообъем с C 45%, Si 45%. Такие микрообъемы малочислены, но они есть. Из результатов элементного анализа можно сделать вывод о том, что шунгитовая порода является микрогетерогенной системой, состоящей из микрофаз разного элементного состава. По результатам химического анализа, полученного с помощью рентгеновского анализатора, нельзя получить информацию об изменении химического состава во всем образце. В эксперименте невозможно создать сравнимые условия сканирования образца по одной и той же линии с одним и тем же размером до и после нагревания одного и того же образца.

С другой стороны, рентгеновская дифрактометрия, являясь усредненной по образцу, может пролить свет на присутствие определенных микрофаз. На рис.2 представлены дифрактограммы порошка №1 до нагревания и после нагревания. Пик большой интенсивности на 26,69 degry (рис. 2a) можно отнести к гексагональному графиту.




a) b)

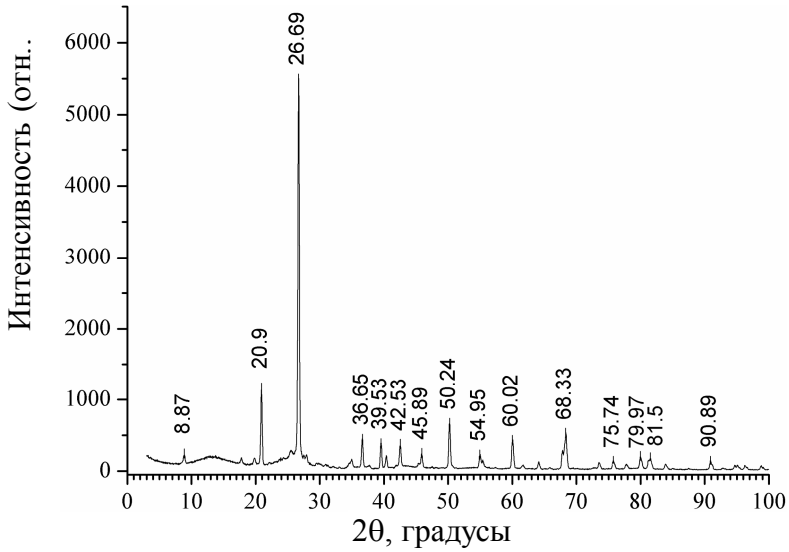
Рис.1. Снимок РЭМ (a) и рентгеновский спектр элементов по линии сканирования электронным лучом образца №1 (b) шунгитового минерала. 1.-Si, 2.-C, 3.-Fe, 4.-S

После нагревания образца (рис. 2b) интенсивность пика значительно уменьшилась, что указывает на участие графитовой фазы в восстановлении соединений элементов, например, оксидов железа. Данный вывод подтверждается появлением микрообластей с содержанием железа в большем количестве, чем в оксидах. На рис. 2 a, b видно, что после нагревания порошка и дальнейшего охлаждения рефлексы всех фаз смещаются в сторону меньших углов. Это позволяет сделать вывод о том, что элементарные кристаллические ячейки порошка №1 увеличиваются, приближаясь по размерам к элементарным ячейкам соответствующих фаз в свободном состоянии. Интенсив-ность рефлексов дифрактограммы после нагревания – охлаждения уменьшается, что указывает на осуществление окислительно-восстано-вительных реакций, которые сопровождаются выделением газа с резким запахом.

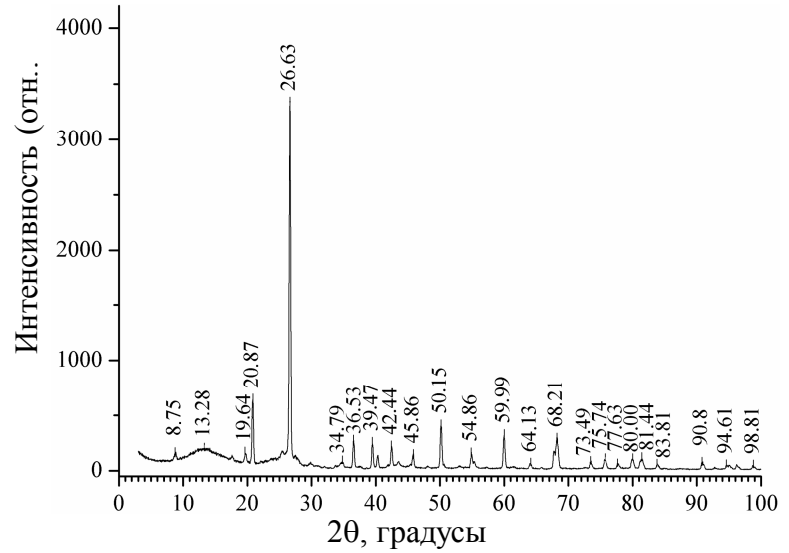
По дифрактограммам получены индексы интенференции соответствующих плоскостей отражения рентгеновских лучей *hkl,*, фазы с пространственной группой симметрии, соотнесенные с номерами стандартных карт соответствующих чистых фаз. Выбраны фазы, которые соответствуют некоторым плоскостям стандартных фаз и элементному анализу. Это фазы C, $SiO_2$, $Fe_3O_4$, $Al_2O_3$, FeS, , $TiO_2$, $Fe_2C$. Нет плоскостей отражения, характеризующих фазы карбонатов, фуллеритов, чистых микрофаз кремния, железа.

Результаты эксперимента по изучению температурных зависимостей удельной намагниченности и удельной магнитной восприимчивости порошка №1 представлены на рис. 3 и рис. 4.

Величины удельной намагниченности $\sigma$ зависимостей (рис. 4) позволяют утверждать, что исходное вещество является парамагнетиком, так как удельная намагниченность его много меньше 0,3–0,5А·м$^2$·кг$^{-1}$. После прогрева до 850 К ход зависимостей $\sigma = f(T)$ преобретает вид, свойственный слабомагнитному веществу, обладающему небольшим магнитным моментом.




a




b

Рис. 2. Дифрактограммы порошка №1 шунгитового минерала до нагревания (a), после нагревания (b)

На то, что шунгит после прогрева не является “в чистом виде” парамагнетиком указывает температурная зависимость обратной величины удельной магнитной восприимчивости $10^{-2}/\chi_{уд}=f(T)$ (рис. 4). В области низких температур (не говоря о температурах выше комнатных) не наблюдается характерное для парамагнетиков проецирование зависимости $10^{-2}/\chi_{уд}=f(T)$ в нулевое положение осей координат. Описываемый график можно условно разбить на две части: плавное возрастание $1/\chi_{уд}$ до $T \approx 750$ К и резкое возрастание $1/\chi_{уд}$ при дальнейшем повышении температуры.

Кривая на первом участке имеет вид, свойственный слабым магнетикам (в частности, антиферромагнетикам со слабым ферромагнитным эффектом при намагничивании их полем, приложенным вдоль их тригональной оси). Ход кривой на втором участке можно приписать к парамагнетикам или к ферримагнетикам.

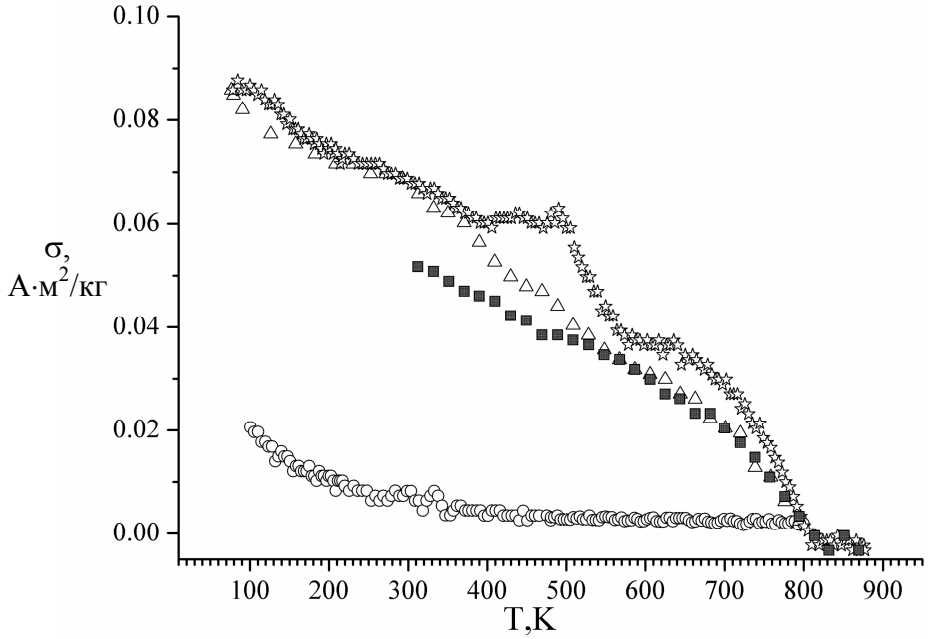



Рис.3. Изменение удельной намагниченности порошка №1 шунгитовой породы при нагревании и охлаждении.○ – нагревание, Δ – охлаждение, ☆ – нагревание, ■ – охлаждение

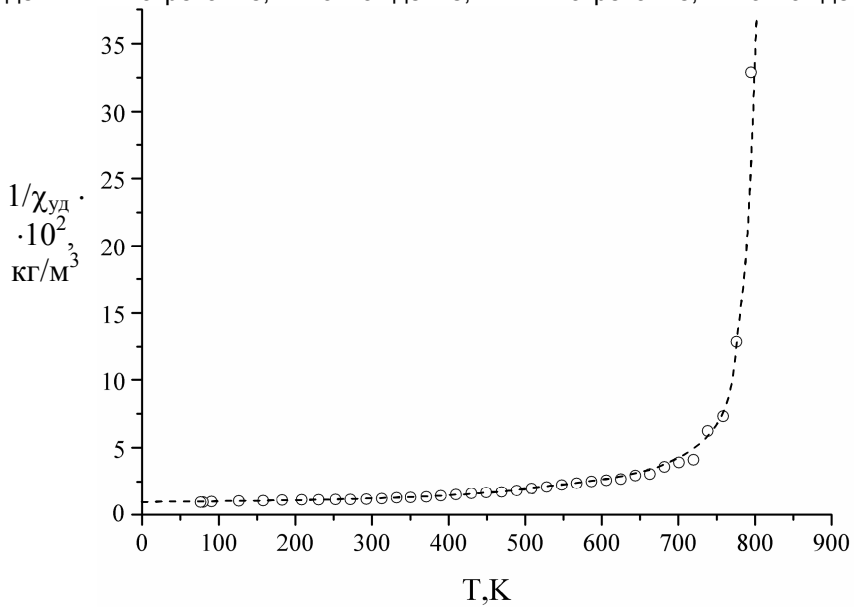



Рис.4. Зависимость удельной магнитной восприимчивости порошка №1 шунгитовой породы от температуры

Однако у ферримагнетиков крутизна наклона графика выше. Величины $1/\chi_{уд}$ имеют значения для парамагнитных минералов в интервале $10^5 - 10^7$ кг/м$^3$, для ферримагнетиков эти величины в определенном интервале температур меньше.

**Выводы**

1.Шунгитовая порода представляет собой твердую дисперсную систему, где есть микрообласти с разным содержанием микрофаз вплоть до почти индивидуальных Si, C, Fe.

2.Показано, что в мелком порошке при нагревании от 100 до 850 К в среде аргона интенсивно протекают окислительно-восстановительные реакции.

3.При нагревании/охлаждении можно увеличить удельную магнитную насыщаемость порошка от 0,01 до 0,07 А·м$^2$/кг (размерный эффект).

## Список литературы

1.Ковалевский В.В. Углеродистое вещество шунгитовых пород: структура, генезис, классификация: дис. **...** д-ра геол.-минерал. наук. Петрозаводск, 2007. 268 с.

2. ГОСТ 24450-80. Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения. М., 1980.

3.Чечерников В.И.. Магнитные измерения. М., 1969. 387с.

4.Янушкевич К.И. Методика выполнения измерений намагниченности и магнитной восприимчивости. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. МВИ. МИ 3128-2009, НИИ ТЗИ, БелГИМ, Минск, 2009.19с.

*Получено 10.07.12*

**S.G. Emelyanov,** Doctor of Sciences, Professor, Rector, Southwest State University (Kursk) (e-mail: esg@swsu.ru)

**Y.A. Mirgorod,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: yu_mirgorod@mail.ru)

**V.M. Fedosyuk,** Doctor of Sciences, General Manager, SSPA "Scientific-Practical Materials Research Center of NAS of Belarus» (e-mail: fedosyuk@ifttp.bas-net.by)

**STUDY OF STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES OF A FINE POWDER MINERAL SHUNGITE DEPENDING ON HEATING**

*By X-ray analysis, scanning electron microscopy, diffraction, magnetometry studied fine powder of mineral shungite before and after heating (850K). Shungite breed is a solid dispersion system where micro regions with different content up to almost microphases individual Si, C, Fe. It is shown that in the fine powder by heating rapidly flowing oxidation-reduction reactions. When heating / cooling can increase the specific saturation magnetic powder with 0.01 to 0.07 A · m2/kg (size effect).*

***Key words:*** *powder, mineral schungite, size effect, structure, magnetic properties*

---

УДК 542.943.92:544.552.11:54.38:54.381:544.778.3

**С.Д. Пожидаева,** канд. хим. наук, доцент**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) **(**e-mail: pozhidaeva_kursk@mail.ru)

**А.М. Иванов,** д-р хим. наук, профессор**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) **(**e-mail: fhht@pochta.ru)

**Д.А. Сотникова,** аспирант**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) **(**e-mail: fiore.06@mail.ru)

**А.Ю.Елисеева,** аспирант**,** Юго-Западный государственный университет (Курск) **(**e-mail: eay-29@rambler.ru)

**ЦИКЛИЧЕСКИЕ МАКРОСТАДИИ В МЕХАНИЗМАХ ОКИСЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В КИСЛЫХ СРЕДАХ В ПРИСУТСТВИИ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ И ИНЫХ ОКИСЛИТЕЛЕЙ**

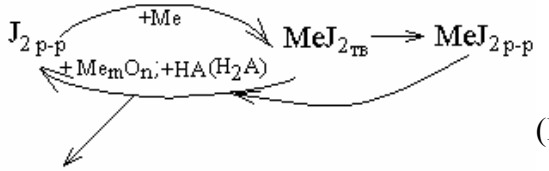
*На примере гетерогенного гетерофазного низкотемпературного окисления меди при ее контакте с подкисленными минеральными и карбоновыми кислотами растворами и (или) суспензиями соединений меди (II) как медьсодержащих окислителей проведено сравнение эффективностей функционирования циклических макростадий с участием молекулярного йода и без него в механизмах окислительно-восстановительных процессов получения солей меди из металла и соответствующей кислоты. На конкретных примерах показано, что для данного металла как исходного реагента предпочтение следует отдать циклическим стадиям без участия молекулярного йода.*

***Ключевые слова:*** *медь; соединения меди (II); минеральные и карбоновые кислоты; растворы и суспензии; оценка; эффективность; циклическая стадия в механизме; продукты превращения; соединения меди (I); кинетика накопления продуктов, фазовые переходы; бронза, латунь, детали, разрушение, средние скорости расходования металла и разрушения детали; пооперационная схема проведения эксперимента.*

***

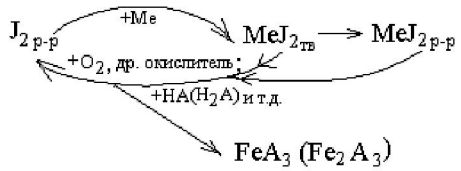
Интенсификация окислительно-восстановительных процессов получения карбоксилатов при взаимодействии металла (марганца, железа, свинца, меди) и оксида металла в более высокой в сравнении с продуктом степени окисле-ния в отсутствие или в присутствии другого окислителя (кислорода воздуха, пероксида водорода и т.д.) с карбоновой кислотой, растворенной в различных, чаще всего в органических растворителях, во многом связана с добавками молекуляр-

ного йода или брома [1]. Это объясняется тем, что указанные галогены очень легко и быстро реагируют с металлом [1, 2], формируют в механизме рассматриваемого процесса циклическую макростадию, существенно облегчающую превращение твердого металла и металлсодержащего окисли-теля в целевой карбоксилат или иной продукт. Варианты такой макростадии выглядят следующим образом (HA, H2A – одноосновная или двухосновная кислота):




(I)

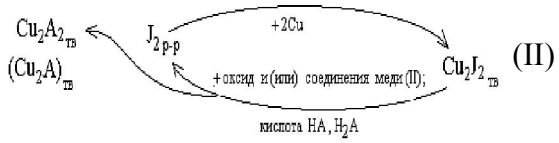
$MeA_2$ (MeA) в случае Mn и Pb, частично Fe [3,4]




для ряда карбоновых кислот при использовании кислорода воздуха в качестве окислителя [5,6]

Выигрыш в скорости предопределен тем, что металлсодержащие окислители типа $MnO_2$, $Mn_2O_3$, $Mn_3O_4$, $MnO_2$– пероксид, $PbO_2$, $Fe_2O_3$, $Fe_3O_4$, и основные и средние соли Mn(IV), Mn (III), Pb(IV) и Fe(III), а также $O_2$, $H_2O_2$ и т.д. по ряду причин, включая недостаточную реакционную способность и очень плохую растворимость в жидких фазах реакционных смесей, окисляют металл намного медленнее (на 2-4 порядка и более), чем молекулярный йод и бром, в то время как образующиеся при взаимодействии металла с галогеном йодиды (некоторые бромиды) в выбранных условиях ими окисляются много быстрее. Кроме того многие йодиды $MeJ_2$ в выбранных жидких фазах заметно более растворимы, что дает им возможность перемещаться на поверхность практически нерастворимого оксида путем адсорбции из раствора и в дальнейшем реагировать с ним.

Молекулярный йод с медью реагирует с образованием йодида меди (I) [1,2], который очень плохо растворим в большинстве используемых в рассматриваемых процессах средах, что существенно замедляет его последующее окисление с образованием молекулярного йода.



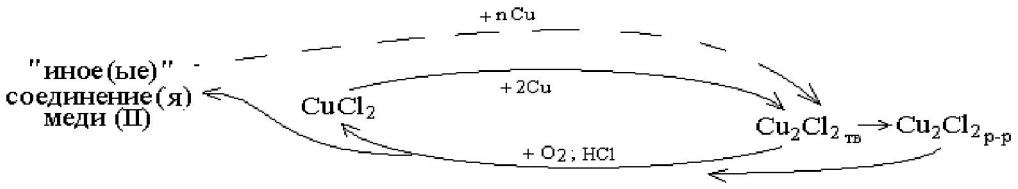

(II)

Это вносит определенный дисбаланс в прямую и обратную ветви циклической макростадии и делает ее протекание менее эффективной в сравнении с вариантами схемы (I). К тому же продуктом в схеме (II) является также чаще всего очень плохорастворимый твердый карбоксилат меди (I), в то время как для функционирования циклической стадии нужна соль меди (II). Последняя получается путем окисления карбоксилата меди (I) молекулярным кислородом (пероксидом водорода и другими окислителями) в кислой среде

$$2Cu_2A_2 + O_2 + 4HA \rightarrow 4CuA_2 + 2H_2O.$$

Но такое превращение в ряде случаев, в том числе и из-за плохой растворимости $Cu_2A_2$ ($Cu_2A$), протекает не слишком быстро.

С другой стороны известно, что хлорид меди (II) довольно легко окисляет медь с образованием хлорида меди (I) [7,8]. Следовательно, с его участием можно построить более простую и менее стадийную циклическую макростадию по схеме, аналогичной приведенной выше.




(III)

Представляло интерес оценить:

1. Насколько схема (III) конкурентоспособна со схемой (II) и может ли она заменить схему (II) и таким путем исключить использование йода в качестве стимулирующей добавки?

2. Могут ли иные соединения $Cu^{2+}$ реагировать с медью и, если могут, то насколько эффективно в сравнении с $CuCl_2$?

3. Можно ли в схеме (III) заменить хлорид меди (II) на другие соли и соединения меди (II), включая и оксид, гидроксид и карбоксилаты, а если да, то как это скажется на скоростях расходования металлической меди?

4. Можно ли в схеме (III) заменить медь на ее сплав или другой металл, и если да, то могут ли аналоги схемы (III) с другими металлами функционировать параллельно со схемой (III) и насколько эффективно?

Для ответа по п.1 эксперимент проводили в соответствии с пооперационной схемой (рис.1). Примеры получаемых кинетических кривых представлены на рис.2 и 3.

Хорошо видно, что содержания соединений меди (I) и меди (II) по ходу процесса увеличиваются, причем по довольно сложным закономерностям, а содержание кислоты, наоборот, снижается сначала весьма быстро с последующим довольно резким переходом на значительно более медленный вариант, представленный фактически прямой линией. Естественно снижается и количество находящейся в системе меди. По количеству оставшейся меди рассчитана средняя скорость ее расходования, которая оказалась равной 11,33 моль/(кг загруженного металла·час).

Основными продуктами окисления были хлорид меди (I), основной (Cu(OH)Cl) и средний хлорид меди (II) и его аддукты ($Cu[CuCl_4]$ и т.д.) (все они количественно определялись использ-уемым методом анализа на соединения меди (II)), а также основной хлорид, отвечающий формуле $CuCl_2 \cdot 3Cu(OH)_2$ (используемым анализом не определялся). Сбалансировать процесс таким образом, чтобы в реакционной смеси хлорид меди (I) присутствовал в небольших и примерно постоянных во времени содержаниях, пока еще не удалось. Основные трудности оказались в организации эффективного барботажа воздуха.

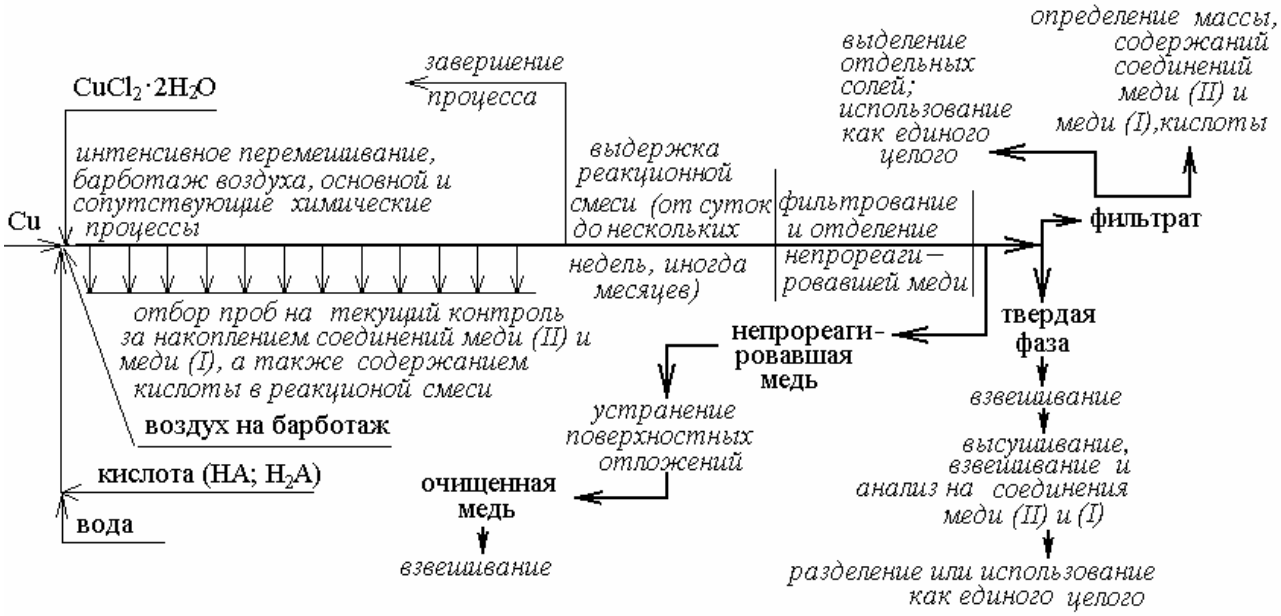



Рис.1. Пооперационная схема проведения процесса для получения ответа по п.1

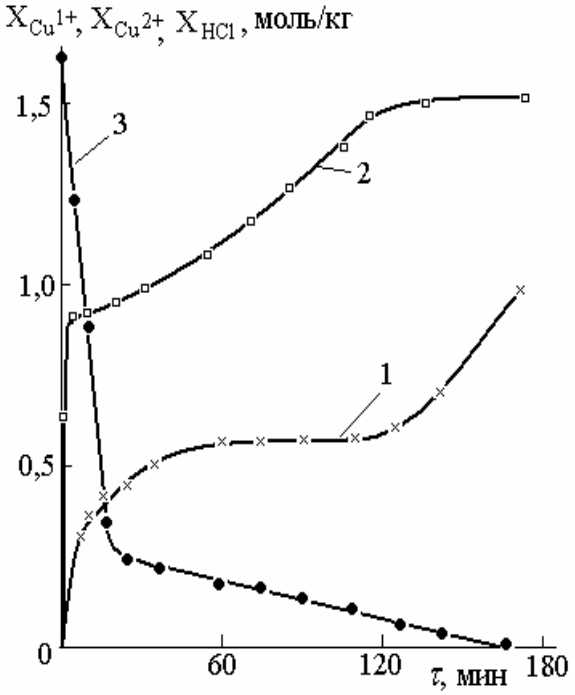



Рис.2. Кинетические кривые накопления соединений меди (I) (1), меди (II) (2), а также расходования кислоты (3) при взаимодействии раздробленной меди с хлоридом меди (II) в растворе соляной кислоты при комнатной температуре и интенсивном механическом перемешивании лопастной мешалкой со скоростью 3000 об/мин

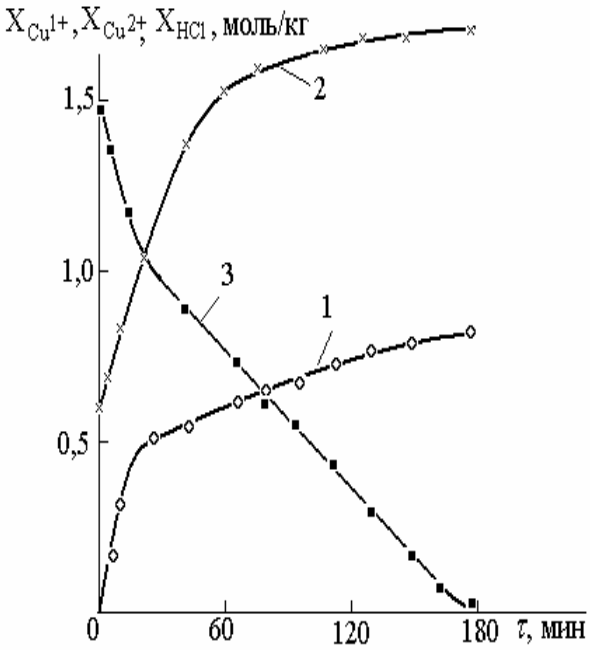



Рис.3. Кинетические кривые накопления соединений меди (I) (1) и меди (II) (2), а также расходования кислоты (3) при взаимодействии меди с основным хлоридом меди (II) (Cu(OH)Cl) в растворе соляной кислоты при комнатной температуре и интенсивном механическом перемешивании лопастной мешалкой со скоростью 3000 об/мин

Тем не менее скорости расходования меди даже в таких условиях находились в диапазоне 7-14 моль/(кг загруженного металла·час). Они не только соизмеримы, но в ряде случае и гораздо выше, чем достигнутые в вариантах с использованием молекулярного йода для функционирования схемы (I) [1,3]. Таким образом, циклическая макростадия (III) не только работоспособная, но и вполне конкурентоспособна с макростадией (I) и гораздо более эффективна в сравнении с макростадией (II).

Ответы на вопросы 2 и 3 можно найти при анализе данных рис.3 и табл.1. Эксперимент проводили в соответствии с пооперационной схемой рис.1 с той лишь разницей, что вместо хлорида меди (II) в качестве окислителя использовали его смеси с основными хлоридами меди (II), сами основные хлориды меди (II), а также другие соли меди (II), включая и некоторые карбоксилаты.

Хорошо видно, что принципиальных отличий кинетических кривых рис.2 и 3 нет. Естественно зависимости далеко не одинаковые в количественном отношении. Но скорости расходования меди не только соизмеримы, но и близки по величине (в данном случае $W_{Cu}$= 9,12 моль/(кг загруженного металла·час)).

Анализ данных табл.1 показывает, что окислять металл могут все выбранные соединения меди (II), но с разной эффективностью. При этом следует иметь в виду, что вытекающий из таблицы ряд активности окислителей довольно условен, поскольку нет оснований считать, что для каждого окислителя выбраны оптимальные условия проведения процесса.

Таблица 1

Эффективность основных и средних солей меди (II) в окислении металла в водных растворах; $W_{Cu}$ – средняя скорость расходования меди, моль/(кг загруженного металла·час)

| № | Исходный(ые) окислитель(и) металла либо смесь окислителей | Содержание основных компонентов исходной реакционной смеси | | | | $W_{Cu}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | соединения $Cu^{2+}$, моль/кг | | | кислота HA, моль/кг | |
| | | $CuA_2$ | Cu(OH)A | прочие | | |
| 1 | оксид меди (II) | - | - | 0,84 | HCl (2,03) | 1,53 |
| 2 | гидроксид меди (II) | - | - | 0,84 | | 0,75 |
| 3 | основной карбонат меди (II) (малахит) | - | - | 0,84 | | 0,27 |
| 4 | фторид меди (II) | 0,73 | - | - | HF (1,81) | 0,94 |
| 5 | хлорид меди (II) | 0,95 | - | - | HCl (1,57) | 14,2 |
| 6 | основной хлорид меди (II) | - | 1,05 | - | HCl (2,3) | 9,87 |
| 7 | смесь основных и среднего хлоридов меди (II) | 0,67 | 1,03 | - | HCl (0,97) | 11,78 |
| 8 | | 0,82 | - | 1,14* | HCl (2,1) | 9,52 |
| 9 | | 0,47 | 0,93 | 0,98* | HCl (2,3) | 8,46 |
| 10 | $Cu[CuCl_4]$ | - | - | 2,11 | HCl (0,33) | 9,53 |
| 11 | $Cu[CuCl_4]$+ Cu(OH)Cl | - | 1,10 | 1,05 | HCl (1,4) | 10,03 |
| 12 | бромид меди (II) | 1,45 | - | - | HBr (1,5) | 4,89 |
| 13 | $CuBr_2$ + Cu(OH)Br | 0,73 | 1,11 | - | HBr (1,7) | 5,48 |
| 14 | нитрат меди (II) | 1,09 | - | - | $HNO_3$ (1,83) | 3,11 |
| 15 | $Cu(NO_3)_2$ +Cu(OH)$NO_3$ | 0,89 | 0,73 | - | $HNO_3$ (2,74) | 2,14 |
| 16 | сульфат меди (II) | 0,73 | - | - | $H_2SO_4$ (1,2) | 1,17 |
| 17 | формиат меди (II) | 0,91 | - | - | HCOOH (1,44) | 1,13 |
| 18 | смесь основного и среднего формиатов меди (II) | 0,68 | 0,73 | - | HCOOH (1,32) | 0,95 |
| 19 | ацетат меди (II) | 1,27 | - | - | $CH_3COOH$ (1,62) | 0,43 |
| 20 | смесь основного и среднего ацетатов меди (II) | 0,57 | 0,93 | - | $CH_3COOH$ (1,83) | 0,72 |
| 21 | оксид меди (II) | - | - | 0,8 | $CH_3COOH$ (2,42) | 0,09 |
| 22 | гидроксид меди (II) | - | - | 0,8 | $CH_3COOH$ (2,51) | 0,06 |
| 23 | основной карбонат меди (II) (малахит) | - | - | 0,8 | $CH_3COOH$ (2,11) | 0,03 |
| 24 | смесь основного, среднего ацетатов меди (II) и оксида меди (II) | 0,47 | 0,83 | 0,39 | $CH_3COOH$ (1,41) HCl (0,3) | 1,92 |
| 25 | | 0,53 | 0,77 | 0,21 | $CH_3COOH$ (1,02) HCl (0,52) | 2,31 |
| 26 | | 0,38 | 0,92 | 0,48 | $CH_3COOH$ (1,72) HCl (0,42) | 2,52 |
| 27 | | | | | $CH_3COOH$ (1,72) HBr (0,57) | 0,88 |
| 28 | | | | | $CH_3COOH$ (1,68) $HNO_3$ (0,55) | 0,67 |
| 29 | | | | | $CH_3COOH$ (1,67) $NaHSO_4$ (0,62) | 0.65 |

*- основной хлорид $CuCl_2 \cdot 3Cu(OH)_2$

Действительно, если для большинства приведенных в табл.1 солей меди (II) и минеральных кислот вполне достаточно использование интенсивного перемешивания лопастной мешалкой (скорость вращения 3000 об/мин), то при переходе к оксиду, гидроксиду, основному карбонату и карбоксилатам меди (II) более целесообразным реактором является бисерная мельница с такой же высокообротной механической мешалкой и соотношением масс бисера и загрузки 1:1. Такая смена реактора позволяет увеличить скорость расходования металла в 2-3- раза, а иногда и более.

Из данных табл. 1 следует, что наивысшие скорости расходования меди достигнуты при использовании основного и среднего хлоридов, их смесей и производных. Наоборот, хуже всего в схеме (III) работают карбоксилаты меди (II). Эффективность последних можно повысить добавкой соляной кислоты. При этом такая добавка должна быть хорошо подобранной в количественном плане. Полное растворение медьсодержащего окислителя в реакционной смеси не требуется. Об этом убедительно свидетельствуют варианты с практически нерастворимыми оксидами, гидроксидами и основным карбоксилатом меди. Не исключена и реакция обмена аниона карбоновой кислоты на анион минеральной кислоты при совместном присутствии кислот в реакционной смеси.

Экспериментально подтверждена и важная роль кинетики накопления соединений меди (I). Превращение соединений меди (I) в соединения меди (II) довольно часто оказывается самой медленной стадией в функционировании циклической схемы (III), что существенно снижает ее эффективность и скорость расходования металла в таких условиях. В целом можно констатировать, что управление таким процессом - довольно сложная задача, которую целесообразно решать для конкретного индивидуального варианта.

Для подтверждения работоспособности процесса в соответствии с сформулированной в п.4 задачей в пооперационной схеме рис.1 вместо раздробленной меди бралась бронзовая или латунная деталь (тройник, корпус пробкового крана, пробка указанного крана, лопасть механической мешалки и т.д.). Деталь (кроме лопасти мешалки) помещалась на дно корпуса реактора (чаще всего пластмассового), а жидкая фаза перемешивалась высокооборотной лопастной мешалкой, нижняя кромка которой находилась на расстоянии 1-1,5 мм от верхней точки лежащей на дне детали. Что происходило с деталью, можно представить из данных рис.4. Число проведенных опытов с деталью 7 длительностью 200 мин каждый. Температура 22±2°С. Используемые для разрушения окислители и достигнутые средние скорости потери массы детали приведены в табл.2.

Анализ приведенных выше данных показывает: 1) средние скорости расходования сплава в выбранных условиях высокие (от 2,5 до 23% от массы детали в час; 2) они существенно зависят от природы используемого окислителя или смесей окислителей, состава (качественного и количественного) контактирующего с деталью раствора, степени подкисления последнего и ряда другихфакторов; 3) в выбранном режиме проведения процесса расходуются все входящие в состав сплава металлы; 4) вынимаемая из конечной реакционной смеси деталь во многих случаях покрыта относительно непрочными и легко смываемыми под воздействием смоченной водой кисточки поверхностными отложениями, что давало возможность собрать их в виде легко отстаиваемой и фильтруемой суспензии; поверхностные отложения черного цвета соответствовали оксиду олова (II); 5) свежеполученная конечная реакционная смесь в ряде случаев являлась довольно плохо фильтруемой суспензией; фильтрование существенно облегчалось, если ее оставить на выстаивание в течение нескольких суток; 6) среди продуктов превращения меди в реакционной смеси в больших количествах присутствовали хлорид меди (I) и основной хлорид меди

(II) состава $CuCl_2 \cdot 3Cu(OH)_2$, а также другие аддукты на основе $CuCl_2$;·7) соединения меди (II) в конечной реакционной смеси сохраняют способность разрушать медные сплавы с соизмеримыми с указанными скоростями; эта способность может быть заметно усилена путем предварительного перевода соединений меди (I) (в основном хлорида) в соединения меди (II).

Рис.4. Начальное и конечное состояние бронзового тройника сантехнического назначения в описанных выше условиях

Таблица 2

Выбранные окислители для разрушения бронзовой детали (рис.4)

$W_{дет}$ – средняя скорость убыли массы детали, моль/(кг загруженного сплава·час)

| № | Окислитель, форма ввода | Содержание в исходной РС, моль/кг | | | $W_{дет}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | соединений меди (II) | | соляной кислоты | |
| | | средней соли | основного хлорида | | |
| 1 | раствор реактивного хлорида меди (II) | 0,83 | - | 0,16 | 29,7 |
| 2 | | 0,85 | - | 0,14 | 25,8 |
| 3 | раствор-суспензия Cu(OH)Cl | - | 0,87 | 1,11 | 33,7 |
| 4 | содержащая Cu(OH)Cl и $Cu[CuCl_4]$ реакционная смесь | 1,82 | 0,23 | 2,57 | 43,2 |
| 5 | раствор $Cu[CuCl_4]$ | 2,02 | - | 0,00 | 97,3 |
| 6 | раствор-суспензия Cu(OH)Cl | - | 0,79 | 2,15 | 222,1 |
| 7 | раствор-суспензия $CuCl_2$, Cu(OH)Cl и $CuCl_2 \cdot 3Cu(OH)_2$ | 0,19 | 0,65 | 1,21 | 53,2 |

**Список литературы**

1. Иванов А.М., Пожидаева С.Д. Использование бисерной мельницы для предотвращения и преодоления самопрекращения окислительно-восстановительных и иных процессов с участием оксидов переходных металлов и практические решения на базе такого подхода. Курск, 2008. 316 с.

2. Иванов А.М. Низкотемпературное гетерогенное гетерофазное окисление металлов растворенным в жидкой фазе йодом или бромом. Курск, 2006. 284 с.

3. Устойчивость металлов и их сплавов в неводных растворах карбоновых кислот и других кислых реагентов в присутствии окислителей и галогенсодержащих добавок в условиях механической активации поверхности / С.Д. Пожидаева, Т. А. Маякова, Е. В. Агеева, А. М. Иванов // Технология металлов. 2010. №1. С. 13-19.

4. Оксиды марганца, свинца, железа и меди как реагенты в стимулированных йодом окислительно-восстановительных процессах получения солей карбоновых кислот с соответствующими металлами в качестве восстановителей / С.Д. Пожидаева, А.М. Иванов, Е.А. Гречушников, Т.А. Маякова // Известия Курск. гос. техн. ун-та. 2007. №4(21). С.37 - 44.

5. Иванов А.М., Гречушников Е.А. Самая медленная макростадия цикла йодид-йод и лимитирующая стадия превращения железа в соль бензойной кислоты в присутствии кислорода воздуха, добавки

йода и органического растворителя // Известия Курск. гос. техн. ун-та. 2008. № 2 (23). С. 37 – 42.

6. Иванов А.М., Гречушников Е.А. Влияние природы растворителя на взаимодействие металлического железа с бензойной кислотой в бисерной мельнице // Журнал прикладной химии. 2008. Т. 81. Вып. 4. С. 559-564.

7. Фурман А.А. Неорганические хлориды (Химия и технология). М.: Химия, 1980. 416 с.

8. Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение. М.: Химия, 1987. 712 с.

*Получено 21.05.12*

**S.D. Pozhidaeva,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)
**(**e-mail: pozhidaeva_kursk@mail.ru)

**A.M. Ivanov,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
**(**e-mail: fhht@pochta.ru)

**D.A. Sotnikova,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
**(**e-mail: fiore.06@mail.ru)

**A. Yu. Eliseeva,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
**(**e-mail: eay-29@rambler.ru)

**CYCLIC MACROSTAGES IN THE MECHANISMS OF THE OXIDATION OF THE METALS IN THE ACID ENVIRONMENTS IN THE PRESENCE OF THE METALLCONTAINING AND OTHER OXIDIZERS**

*In article the example of heterogeneous heterophase lowtemperature oxidations of copper at its contact with the solutions and (or) suspensions of compounds of copper (II) in the presence ofthe mineral and carboxylic acids is resulted. The comparison of the action of cyclic macrostages with the molecular iodine and without it in the mechanisms of oxidation-reduction processes of preparation of salts of copper from metal and acid is spent. On the concrete examples it is shown, that for the given metal as initial reagent it is necessary to give preference to the cyclic stages without the participation of the molecular iodine.*

***Key words:*** *copper; compounds of copper (II); mineral and carboxilyc acids; solutions and suspensions; an estimation; efficiency; a cyclic stage in the mechanism; products of interaction; compounds of copper (I); kinetics of the accumulation of products, phase transitions; bronze, a brass, details, destruction, average speeds of the metal and detail destruction; the operations scheme of carrying out of the experiment on operations.*

---

УДК 542.8:544.14 542.8:539.19

**Ф.Ф. Ниязи,** д-р хим. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: farukhniyazi@yandex.ru)

**Н.В. Кувардин,** канд. хим. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: kuvardin-nikolaj@yandex.ru )

**Е.А. Фатьянова,** канд. хим. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: fatlen@yandex.ru)

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДНЫХ И СПИРТОВЫХ РАСТВОРОВ ПАРАЦЕТАМОЛА ШИРОКОГО КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ИНТЕРВАЛА**

*Статья касается проблемы сверхмалых доз. Исследуются растворы парацетамола в широком концентрационном интервале, включающем сверхмалые концентрации. Выясняется возможность проявления эффектов сверхмалых доз для раствора парацетамола, исследуются указанные растворы методом УФ-спектроскопии, приготовленные как на воде, так и на спиртовом растворителе, сравниваются результаты.*

***Ключевые слова:*** *сверхмалые дозы, парацетамол, высота мениска в капилляре, УФ-спектроскопия.*

***

**Введение**

Способность лекарственных соединений в крайне малых концент-рациях, часто мнимых, проявлять особые свойства, в дальнейшем названные эффектом сверхмалых доз (СМД), впервые была открыта основоположником гомеопатии и экспериментальной фармакологии С.Ф. Ганеманом в конце 18-ого столетия.

Однако и по прошествии двух веков вопрос реальности эффекта СМД для многих учёных остаётся открытым, а

экспериментально полученные результаты – ошибкой опыта.

В начале 80-х годов XX века появились выполненные на современном уровне экспериментальные исследования, которые однозначно показали наличие у сверхмалых доз вещества биологической активности [1].

Явление эффекта СМД не отделимо от живого объекта, ввиду того, что под ним подразумевается определённая биологическая реакция этого самого живого объекта на действие вещества, взятого в очень маленьких количествах. Поэтому основным и, пожалуй, на сегодняшний день единственным методом, позволяющим наиболее точно выявлять наличие у вещества эффекта СМД, остаётся использование биологического объекта различного уровня организации [2].

Однако этот метод, показывая наличие эффекта и форму его проявления, не даёт никаких возможностей для объяснения его сущности. Фактически в этом случае даётся один из ответов - «да» или «нет», а также определяется форма проявления этой биологической активности для данного вещества и данного биообъекта.

Для выяснения сущности возникновения эффекта СМД используются современные физико-химические методы анализа – ИК-спектроскопия, ЭПР и др., позволившие накопить определённое количество экспериментальных данных о свойствах высокоразбавленных растворов ряда веществ, в первую очередь используемых в качестве лекарственных препаратов.

Возможен обратный порядок изучения эффекта СМД, с первоначальным сравнительным анализом физико-химических характеристик растворов, содержащих вещества как в сверхмалых, так и нормальных концентрациях, а также используемого растворителя, с последующим выявлением концентрационных интервалов, которые выделяются из общей логической цепи. Дальше вещества в выявленных концентрациях исследуются при помощи биологического объекта.

В проблеме “сверхмалых доз” важным вопросом остается роль растворителя, используемого для приготовления растворов. Известно, что растворы могут быть приготовлены на основе воды, спиртового растворителя, а так же на основе некоторых неполярных растворителей. Однако проявление эффекта сверхмалых доз возможно не для каждого растворителя [3].

## Экспериментальная часть и обработка результатов

Целью нашей работы стало выявление особенностей некоторых физико-химических свойств растворов парацетамола широкого концентрационного ряда, приготовленных с использованием разных растворителей, а также определения возможных концентрационных интервалов действия эффекта СМД.

Приготовлены две серии растворов парацетамола следующих концентраций (моль/л): 10-1, 10-3, 10-5, 10-7, 10-9, 10-11, 10-13, 10-15, 10-17, 10-19, 10-21, 10-23. Растворы первой серии готовились на воде. Вода, очищенная обратным осмосом, фасованная в стеклянные склянки по 0,4 л, закрытые герметично. Для второй серии растворов в качестве растворителя был использован 95%-ный раствор этилового спирта.

Каждая серия растворов изготавливалась последовательным разведением в 100 раз с использованием классической методики приготовления сотенных разведений [2, 4]. Исходным служил 0,1 М раствор парацетамола. Перед отбором порции раствора для следующего разведения проба подвергалась потенцированию.

Подготовленные растворы были изучены катетометрическим методом скрининга веществ, действующих в сверхмалых концентрациях, а также методом электронной спектроскопии.

Катетометрический метод скрининга веществ основан на изучении изменения высоты мениска раствора в капилляре при помощи катетометра В-630 [5]. Результаты скрининга спиртовых и водных растворов парацетамола представлены на рисунках 1, 2.

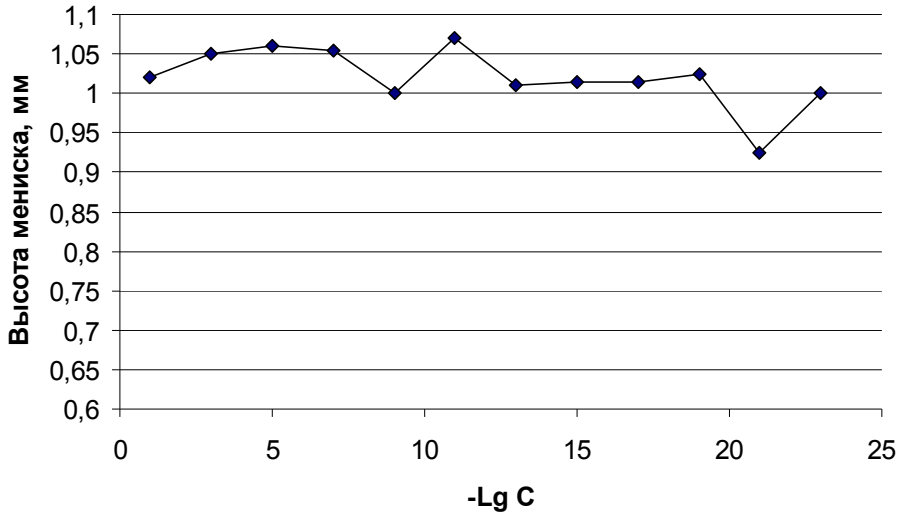



Рис.1. Высота мениска в капилляре спиртовых растворов парацетамола

У всех образцов, приготовленных на растворе этанола, на всем концентрационном интервале высота мениска в капилляре несколько выше высоты мениска контрольного образца, содержащего растворитель. Высота мениска растворителя (95%-ный этанол) составила 0,925 мм. Так, при концентрации раствора парацетамола $10^{-1}$ моль/л увеличение высоты мениска относительно высоты мениска контрольного образца составило 5,15%, для концентрации $10^{-3}$ моль/л - на 8,24%. Несколько больше мениск увеличился для концентрации $10^{-5}$ моль/л на – 9,27%, а для концентрации $10^{-7}$ моль/л - на 8,76%.

Из общей последовательности выделяются образцы с концентрациями парацетамола $10^{-9}$ и $10^{-23}$ моль/л, для которых характерно минимальное увеличение высоты мениска по отношению к его значению у контрольного образца. Значения высоты мениска данных образцов одинаковы и на 3,09% превышают высоту мениска исходного растворителя.

Для раствора с концентрацией парацетамола $10^{-11}$ моль/л высота мениска по отношению к растворителю увеличивается на 10, 31%. Небольшое увеличение, на 4,12%, наблюдается для раствора с содержанием парацетамола $10^{-13}$ моль/л. Для растворов с концентрациями парацетамола $10^{-15}$ и $10^{-17}$ моль/л увеличение мениска одинаково (4,6%). Немногим больше наблюдается увеличение высоты мениска для концентрации парацетамола $10^{-19}$ моль/л на 5,6%.

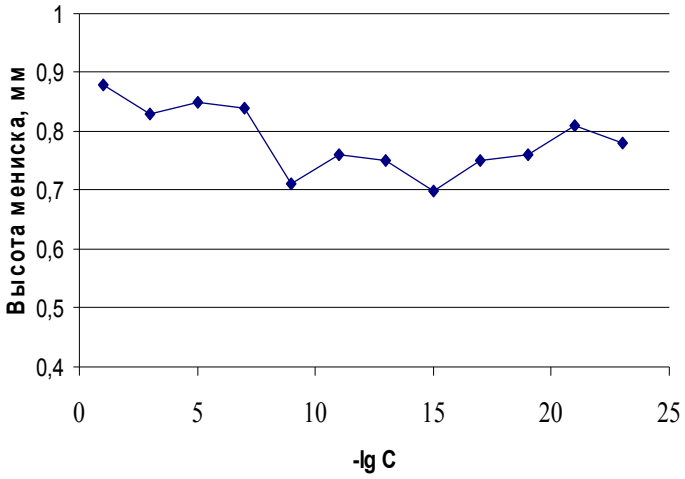



Рис. 2. Высота мениска в капилляре водных растворов парацетамола

Уменьшение высоты мениска (на 4,6%) характерно только для образца с концентрацией парацетамола $10^{-21}$ моль/л.

Катетометрическое исследование спиртовых растворов парацетамола показало, что по сравнению с растворами на водной основе высота мениска изменяется незначительно (рис.1, 2).

Полученные результаты катетометрического исследования спиртовых растворов парацетамола отличаются от результатов катетометрического исследования водных растворов парацетамола [5]. В водных растворах наоборот происходит снижение высоты мениска в капилляре на всем интервале концентраций, и выделяются интервалы, на которых это снижение максимально: для $10^{-9}$ моль/л - на 19,3%, для $10^{-15}$ моль/л - на 20,4%.

УФ-спектры снимались на спектрофотометре Cary 100,UV-Visible Spectrophotometer в интервале 200 – 350нм. Максимумы поглощения водных и спиртовых растворов парацетамола представлены в таблице.

Спектр $10^{-1}$ моль/л раствора парацетамола характеризуется широкой полосой поглощения, лежащей в коротковолновой части изучаемой области облучения – 200 – 320 нм (ширина 120 нм) (рис. 3). В данной полосе поглощения выражено 11 пиков поглощения, значения оптической плотности которых колеблются незначительно от 4,085 до 4,275. Наибольшее поглощение происходит на длинах 223 – 266 нм. При увеличении длины волны выше 266 нм наблюдается снижение поглощения раствора парацетамола. Спиртовой 0,1 М раствор парацетамола не поглощает лучи длиной 335 и более нм. Наибольшее поглощение происходит на длине 238 нм (А = 4,275).

На спектре первого разведения (концентрация парацетамола $10^{-3}$ моль/л) наблюдается сужение области поглощения от 200 до 280 нм. В данной части спектра выделены две полосы поглощения (рис. 4). Первая характеризуется максимумом на длине 211 нм с оптической плотностью 3,553, вторая, более широкая, расположена в интервале длин 240 – 280 нм с несколькими слабо отличимыми максимумами 3,852 – 4,063 . С уменьшением концентрации парацетамола количество максимумов поглощения снижается до десяти с величиной оптической плотности равной 4,063. Поглощение $10^{-3}$ М раствора парацетамола уменьшается по сравнению с исходным раствором (области наибольшего поглощения) на 13,02%.

Максимумы поглощения растворов парацетамола (растворитель - 95%-ный этанол)

| № | Концентрация парацетамола, моль/л | Растворитель | |
|---|---|---|---|
| | | λ, нм | А |
| 1 | $10^{-1}$ | 223 | 4,085 |
| 2 | $10^{-3}$ | 211 | 3,553 |
| 3 | $10^{-5}$ | 204 | 0,288 |
| 4 | $10^{-7}$ | 208 | 0,174 |
| 5 | $10^{-9}$ | 209 | 0,180 |
| 6 | $10^{-11}$ | 207 | 0,303 |
| 7 | $10^{-13}$ | 209 | 0,146 |
| 8 | $10^{-15}$ | 209 | 0,152 |
| 9 | $10^{-17}$ | 209 | 0,144 |
| 10 | $10^{-19}$ | 209 | 0,155 |
| 11 | $10^{-21}$ | 208 | 0,172 |
| 12 | $10^{-23}$ | 209 | 0,155 |

На спектре поглощения раствора парацетамола с концентрацией $10^{-5}$ моль/л определяются только два максимума на длинах 204 нм (А = 0,288) и 249 нм (А = 0,157) (рис. 5). Причём наибольшее поглощение характерно для пика, лежащего в коротковолновой области. При сравнении интенсивности поглощения с предыдущими образцами наблюдается её существенное снижение: по сравнению с раствором с концентрацией парацетамола $10^{-1}$ моль/л на 92,95%, с $10^{-3}$ моль/л раствором – 91,89%.

На спектре образца №4 ($10^{-7}$ М) регистрируются два максимума поглощения: на 208 нм и 249 нм. Поглощение максимума на длине 249 нм выражено очень слабо (А = 0,04), значение оптической плотности меньше коротковолнового максимума (208) в 4,3 раза. При сравнении интенсивности поглощения с предыдущими образцами наблюдается её существенное снижение: по сравнению с раствором с концентрацией парацетамола $10^{-1}$ моль/л на 95,74%, с $10^{-5}$ моль/л раствором – на 39,58%.

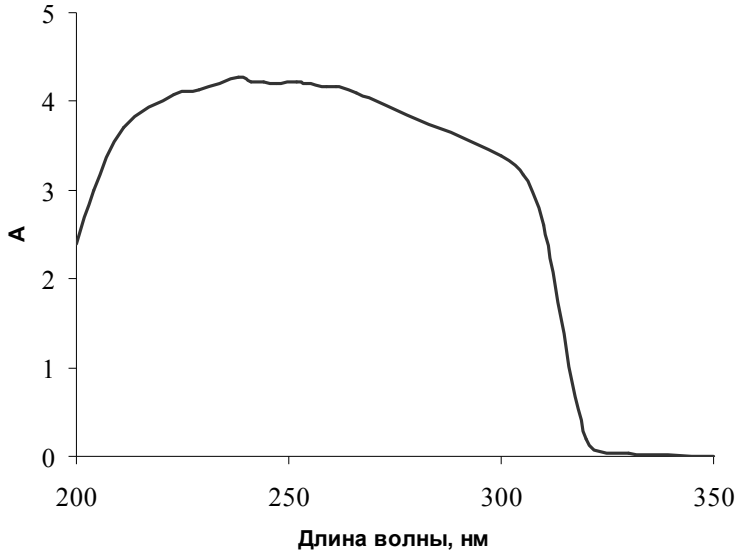



Рис. 3. Спектр поглощения $10^{-1}$ моль/л раствора парацетамола (растворитель - этанол)

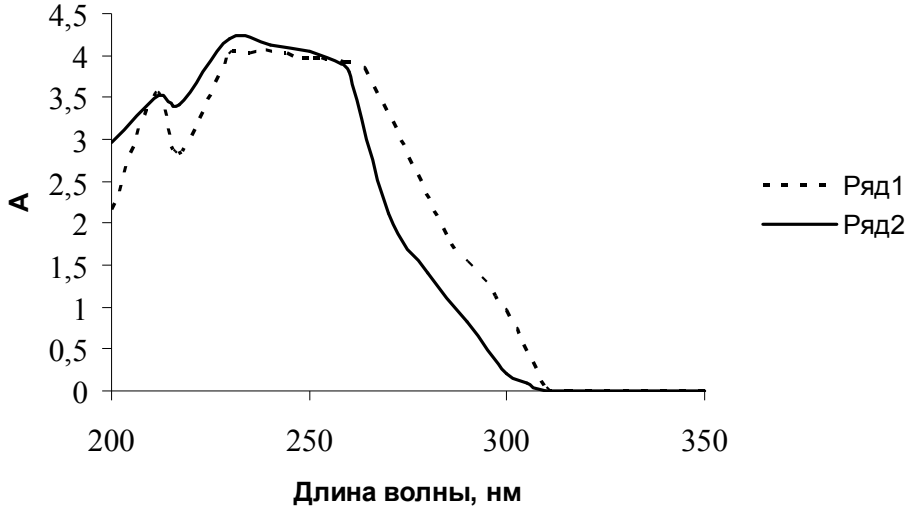



Рис. 4. Спектры поглощения $10^{-3}$ моль/л растворов парацетамола в растворителях разных (ряд 1 – этанол, ряд 2 – вода)

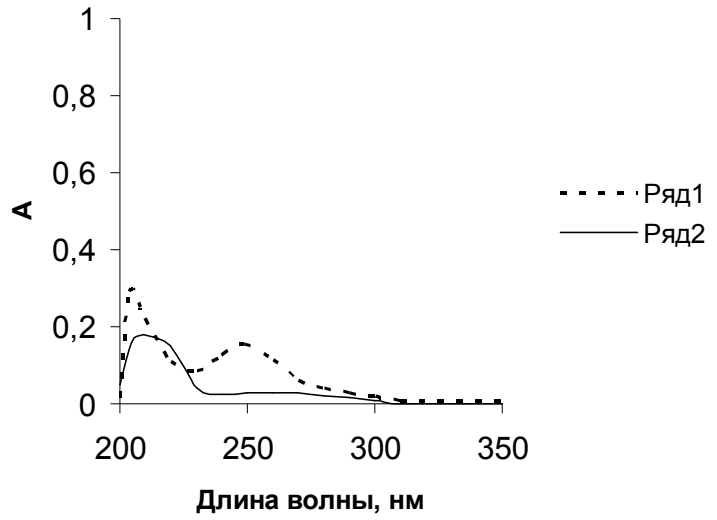



Рис. 5. Спектры поглощения спиртовых растворов парацетамола (ряд 1 – $10^{-5}$ моль/л, ряд 2 – $10^{-9}$ моль/л)

На спектрах образцов с концентрацией парацетамола $10^{-9}$ – $10^{-23}$ моль/л выражен только один максимум на длине 209 нм, поглощение на котором крайне слабое (рис. 5).

При уменьшении концентрации растворов парацетамола в каждые 100 раз значение оптической плотности на максимуме поглощения изменяется неоднозначно. Не учитывая наиболее концентрированные растворы $10^{-1}$ и $10^{-3}$ моль/л, при переходе от $10^{-3}$ к $10^{-5}$ концентрации парацетамола оптическая плотность по сравнению с исходным образцом уменьшается на 92,95%, далее от $10^{-5}$ к $10^{-7}$ моль/л – на 95,74%.

В ряду концентраций $10^{-7}$ – $10^{-23}$ М парацетамола в спиртовых растворах не отмечается однозначной тенденции к снижению величины оптической плотности, поглощение варьируется в интервале 0,144 – 0,180 (табл.). Из этой последовательности выделяются спектры растворов с концентрацией парацетамола $10^{-11}$ моль/л, а также $10^{-9}$ , $10^{-15}$ , $10^{-19}$ , $10^{-21}$ моль/л. Для данных растворов наблюдается повышение значения оптической плотности по сравнению с предыдущим разведением. Так, разведение $10^{-9}$ моль/л раствора в 100 раз приводит к увеличению оптической плотности на 68,33%.

Наибольшее увеличение интенсивности поглощения происходит у растворов с концентрацией парацетамола $10^{-11}$, $10^{-21}$ моль/л на длине 207 (208) нм. Так, поглощение на длине 208 нм у растворов с концентрацией $10^{-7}$ моль/л составило 0,174, а в 10000 раз разбавленный раствор имеет оптическую плотность, равную 0,303, что почти в 2 раза больше.

Замена растворителя, 95% этанола на воду существенно не сказывается на форме спектра и интенсивности поглощения исходного раствора (концентрация парацетамола $10^{-1}$ моль/л).

Спектры спиртового и водного растворов с содержанием парацетамола $10^{-3}$ М схожи по форме (рис. 4). На спектре водного раствора парацетамола коротковолновый пик поглощения (211 нм) выражен в меньшей степени. Замена воды на этанол фактически не повлияла на интенсивность поглощения $10^{-3}$ М раствор парацетамола.

Интенсивность на максимумах поглощения наиболее концентрированных спиртовых растворов ниже, чем водных растворов. Так, оптическая плотность водного раствора с содержанием параце-

тамола $10^{-5}$ моль/л только в 3,9 раз больше, чем у спиртового, а у $10^{-7}$ М водного раствора оптическая плотность на максимуме превышает в 1,5 раз поглощение спиртового раствора.

В ряду концентраций всего концентрационного ряда водных растворов парацетамола не отмечается однозначной тенденции к снижению величины оптической плотности. Из этой последовательности выделяются спектры растворов с концентрациями парацетамола $10^{-9}$ , $10^{-13}$, $10^{-15}$ , $10^{-19}$ , $10^{-21}$ моль/л. Для данных растворов наблюдается повышение значения оптической плотности по сравнению с предыдущим разведением.

**Заключение**

Из данных катометрического исследования спиртовых растворов, содержащих сверхмалые дозы парацетамола, видно, что полученные результаты отличаются от результатов исследования растворов, приготовленных на воде. При исследовании водных растворов парацетамола на всем протяжении концентрационного интервала наблюдалось снижение высоты мениска, когда в спиртовых растворах наоборот отмечено его увеличение.

При исследовании высоты мениска спиртовых растворов парацетамола установлено, что концентрационные интервалы максимального снижения высоты мениска в капилляре составили $10^{-9}$ , $10^{-21}$, $10^{-23}$ моль/л.

Наибольшее снижение высоты мениска в капилляре достигается у водных растворов с концентрациями парацетамола $10^{-9}$ моль/л (19,3%) и $10^{-15}$ моль/л (20,4%).

Разница в значениях высоты мениска у спиртовых растворов выражена слабо, концентрационные интервалы изменений не всегда совпадают с таковыми для водных растворов.

Как для водных, так и для спиртовых растворов парацетамола можно выделить концентрационные интервалы, в которых наблюдается увеличение оптической плотности по сравнению с более концентрированными растворами: для водных растворов – $10^{-9}$, $10^{-13}$, $10^{-15}$, $10^{-21}$ моль/л; для спиртовых растворов - $10^{-9}$, $10^{-11}$, $10^{-15}$, $10^{-19}$, $10^{-21}$ моль/л. Таким образом, для водных и спиртовых растворов парацетамола наблюдается совпадение концентрационных интервалов, для которых характерно аномальное повышения поглощения при разбавлении раствора.

Повышение поглощения у ряда разведений парацетамола, а также наличие максимума поглощение на длине волны 209 нм даёт возможность предполагать образование в сильно разбавленных растворах новых структур, и как следствие, проявления у растворов в этих концентрациях эффекта сверхмалых доз.

*Статья выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 г.г.*

**Список литературы**

1. Коновалов А.И. Физико – химическая загадка сверхмалых доз // Химия и жизнь. 2009. Т. 2. С 5-9.

2. Эпштейн, О.И. Сверхмалые дозы – история одного исследования. М.: Изд-во РАМН, 2008. 336с.

3. Роль полярности растворителя в механизме действия биологически активных веществ в сверхмалых дозах / В.В. Белов, Е.Л. Мальцева, Н.П. Пальмина, Е.Б. Бурлакова // Доклады Академии Наук. 2004. Т.399. N4. С. 548-550.

4. Сверхмалые дозы антител: закономерности действия in vitro при бипатическом введении на модели длительной посттетанической потенции / О.И. Эпштейн, Н.А. Береговой, Т.М, Панкова [и др.] // Бюл. эксперим. биол. и мед. 2003. С. 20-24.

5. Пат. №2346260 от 10.02.2009 г. Способ определения способности биологически активных веществ к проявлению эффекта “сверхмалых доз” / Ниязи Ф.Ф., Кувардин Н.В.

6. Ниязи Ф.Ф., Кувардин Н.В., Фатьянова Е.А. Изменение некоторых физико-

химических свойств растворов парацетамола при сверхмалых концентрациях / Ф.Ф. Ниязи, // Сб. научных ст. Международной научно-практической конференции «Применение инновационных технологий в научных исследованиях». Курск, 2010. С. 382 – 385.

*Получено 16.05.12*

**F.F. Niyazy,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: farukhniyazi@yandex.ru)

**N.V. Kuvardin,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: kuvardin-nikolaj@yandex.ru)

**E.A. Fat`ianova,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: fatlen@yandex.ru)

**STUDY OF SOME PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES WATER AND ALCOHOL SOLUTIONS PARACETAMOL WIDE CONCENTRATION RANGE**

*The article concerns the problem of small doses. We study the solutions of paracetamol in a wide concentration range, including ultra-small concentrations. It turns out the possibility of manifestation of the effects of ultra-low doses for a solution to paracetamol, these solutions are investigated by ultraviolet spectroscopy, prepared as a water and alcohol in the solvent, the results are compared.*

***Key words:*** *ultra-low doses, paracetamol, height of the meniscus in the capillary tube, UV-spectroscopy.*

---

УДК 543.42

**Ю.А. Миргород,** д-р хим. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: yu_mirgorod@mail.ru)

**Н.М. Хорьякова,** студент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: natali030119891@rambler.ru)

**КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В БУТАНЕ, ДЕКАНЕ, ЗДОРОВОЙ И РАКОВОЙ ТКАНЯХ ЧЕЛОВЕКА**

*Проанализированы колебания ядер в С-Н связях бутана, декана, D-$\alpha$ -фосфатидилхолин дипальмитоила, в углеводородных группах здоровой объемной, раковой объемной тканях и в срезе толщиной 0,2 мкм раковой ткани человека. Различие в колебаниях С-Н связей здоровой и раковой тканей может использоваться для диагностики заболевания человека раком. Показано, что смещение максимумов полосы рассеяния излучения на связях С-Н в здоровой и раковой ткани равно 93 см$^{-1}$, при точности измерений волнового числа 1 см$^{-1}$.*

***Ключевые слова:*** *бутан, декан, раковая ткань, комбинационное рассеяние света, колебания связи С-Н.*

***

Вода и углеводороды находятся в контакте при авариях, в водно-нефтяных эмульсиях, смазочно-охлаждающих жидкостях. Состояние молекул углеводородов и воды в месте контакта имеет фундаментальное значение для процессов добычи нефти из капилляров минеральных пород, криогенной техники биологических тканей, применения амфифилов, познания природы рака. От строения воды и углеводородов в тонком слое зависит фазовый переход жидкость-жидкость в воде [1], гидрофобный эффект [2], строение и функционирование белков, биомембран.

В последнее время для исследования в этих областях знания все чаще применяется комбинационное рассеяние света или рамановская спектроскопия. С ее помощью получают информацию о колебаниях атомов в молекулах в твердом, газовом, жидком состояниях. Кроме того, этим методом можно исследовать мягкие наноструктуры, к которым относят мицеллы амфифилов, белков, биомембраны, вирусы, биологические ткани. Строение мягких наноструктур зависит от сегрегации (разделения, расслаивания) молекул воды и углеводородных групп. Поскольку энергия межмолекулярного взаимодействия воды на порядок больше по ве-

личине, чем дисперсионное взаимодействие углеводородов, основную роль при образовании мягких наноструктур связывают с изменением строения и энергетики водородных связей воды. Для этого исследуют изменения различных спектров воды мягких наноструктур.

В данной статье по результатам рамановской спектроскопии бутана [3], декана [4], D-$\alpha$-фосфатидилхолин дипальмитоила и, кроме того, здоровой и раковой тканей человека [5] мы проследили за изменением колебаний связи С-Н углеводородных групп в газовом, жидком состояниях и в мягких наноструктурах человека. Объекты исследования в работах [3-5] облучались в одинаковых условиях пучком электромагнитного излучения аргонового лазера длиной волны 514 нм и диаметром 200 нм при комнатной температуре.

На рис. 1 представлен рамановской спектр газообразного бутана в координатах относительная интенсивность (I) – волновое число ($\bar{\nu}$). Колебания связи С-Н в бутане и в других рассматриваемых объектах представляют собой квазивырожденное многообразие ангармонических колебаний.

Спектр бутана состоит из шести колебательных мод $CH_2$ сим., $CH_2$ асим., $CH_3$ сим, $CH_3$ асим., $CH_3$ сим,+$CH_3$ асим.. и самое интенсивное $CH_2$ сим. + $CH_2$ асим.. с максимумом $\bar{\nu}$ = 2894 см$^{-1}$. Далее, в рамановских спектрах сравниваются $\bar{\nu}$ максимумов интенсивности полос рассеяния света.

Спектр жидкого декана из-за межмолекулярного взаимодействия выглядит сплошным, по сравнению со спектром газообразным бутана. В спектре можно выделить пять колебательных мод. Наиболее интенсивная мода с $\bar{\nu}$ = 2870 см$^{-1}$, по- видимому, также относится к $CH_2$ сим. + $CH_2$ асим..

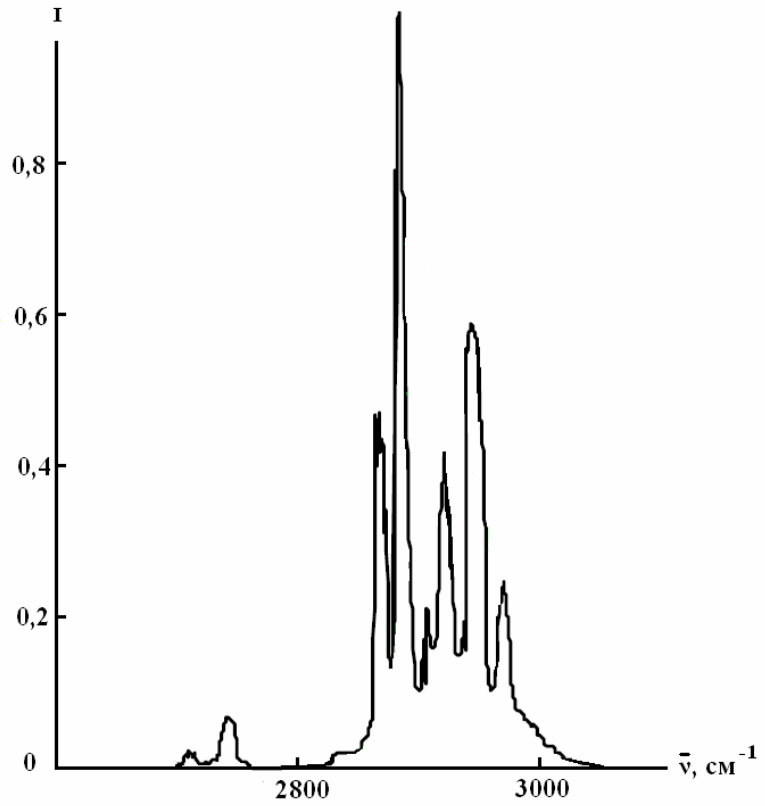



Рис 1. Рамановский спектр бутана

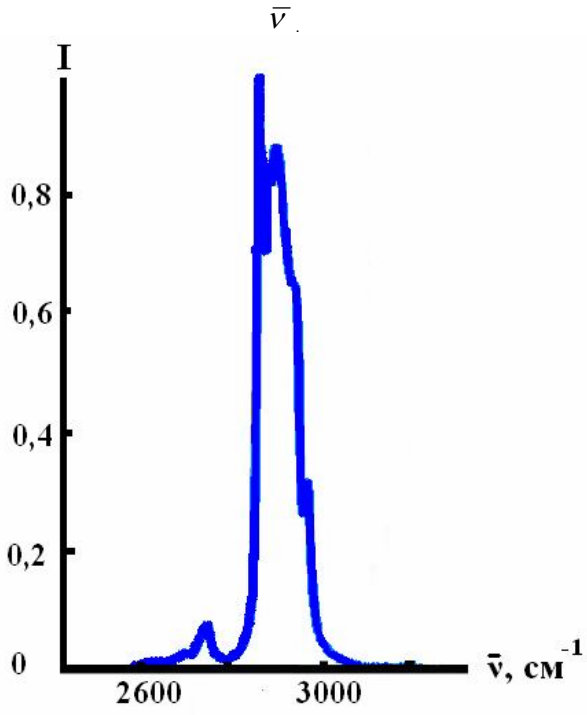



Рис. 2. Рамановский спектр декана

Разница между максимумами в спектрах бутана и декана равна 24 см$^{-1}$, что соответствует изменению энергии 0,287 кДж·моль$^{-1}$ квантов. Полученная величина, примерно, совпадает с величиной энергии дисперсионного взаимодействия углеводородов.

В работе [5] исследован рамановской спектр D-$\alpha$-фосфатидилхолин дипальмитоила. Этот глицерофосфат является одним из главных компонентов эпителия, биомембран клеток. На границе между ним и водой получено $\bar{\nu}$ = 2920 см$^{-1}$. Величина волнового числа примерно такая же, как у объемной раковой ткани 2920 см$^{-1}$ (рис.3). Это значение $\bar{\nu}$ больше, чем в газообразном бутане. Судя по изменению $\bar{\nu}$ в бутане, декане, глицерофосфате, колебания связей С-Н в биомембранах больше, чем колебания связей С-Н в газообразном состоянии молекул углеводородов.

Кроме того, исследована здоровая объемная ткань грудной железы (толщиной значительно больше 0,2 мкм), объемная раковая и тонкий срез 0,2 мкм замороженной и потом размороженной раковой ткани одной и той же пациентки. Из рис. 3 видно, что максимум интенсивности рассеяния углеводородной полосы здоровой ткани равен 2850 см$^{-1}$, т.е. он на 20 см$^{-1}$ меньше, чем в жидком декане. Это логично на том основании, что более сильная водородная связь в воде, по сравнению с дисперсионным взаимодействием жидкого додекана, уменьшает колебания атомов углерода и водорода в связи С-Н.

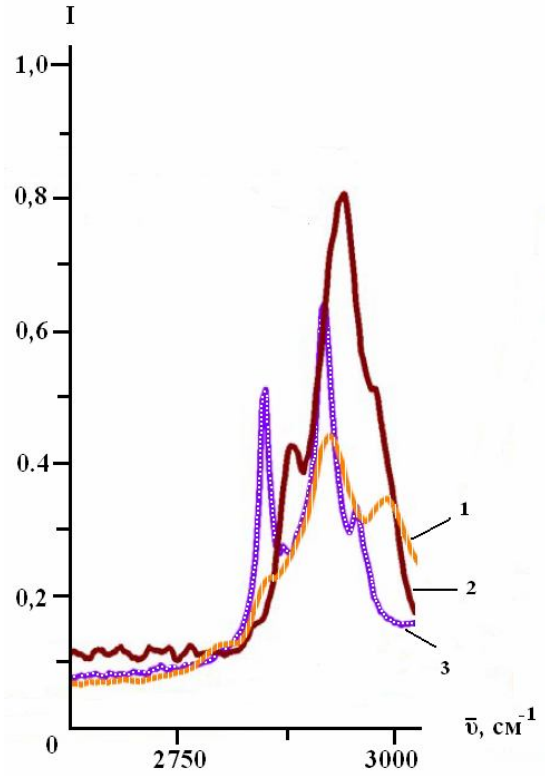



Рис.3. Рамановский спектр мягких наноструктур: 1-объемная раковая ткань пациентки; 2- тонкий срез 0,2 мкм раковой ткани пациентки; 3- водный раствор D-$\alpha$-фосфатидилхолин дипальмитоила

Аномально выглядит изменение $\bar{\nu}$ в объемной раковой ткани 2920 см$^{-1}$, по сравнению со здоровой тканью и, особенно с тонким срезом раковой ткани 2943 см$^{-1}$. Изменение рассеяния света на связях С-Н в тонком срезе раковой ткани и в объеме здоровой ткани равно $\Delta\bar{\nu}$ = 93 см$^{-1}$, что соответствует изменению энергии 1,112 кДж·моль$^{-1}$. Величина энергии располагается в промежутке между инкрементами энергии Гиббса мети-

леновой группы при образовании мягких наноструктур амфифилов, белков 0,7 - 3,7 кДж·моль$^{-1}$ [1].

Таким образом, установлено, что энергия колебаний связи С-Н в раковой ткани увеличена на 3,26 % по сравнению с энергией колебаний таковой в здоровой ткани. Причины значительного увеличения колебаний связи С-Н в углеводородных группах раковой ткани пока неизвестны. Такое различие может использоваться для диагностики заболеваний человека раком грудной железы, что не обсуждается в цитированной статье [5]. Можно ожидать, что изменение $\bar{\nu}$ раковой ткани по сравнению со здоровой на различных этапах развития болезни будет 50-100 см$^{-1}$ в то время, как точность измерений $\bar{\nu}$ С-Н связи составляет 1 см$^{-1}$.

Метод рамановской спектроскопии может быть использован для анализа водных растворов, поскольку высокий абсорбционный эффект воды в отличие от метода инфракрасной спектроскопии не оказывает на него существенного влияния. Интенсивность спектральных линий в растворе пропорциональна концентрации растворенных соединений. Рамановский спектр мало зависит от изменений температуры раствора. Метод рамановской спектроскопии практически не требует пробоподготовки, применения специальных реагентов, и не подвержен влиянию материала ячейки, например, стекла.

Для совместного понимания установленного явления со стороны медиков, физиков, химиков и стимулирования исследований в этом направлении описываем возможную методику диагностики. После общего описания опухолевой массы, хирургические края опухолевой массы отмечаются красителем и материал иссекается. Образцы разделяются продольным разрезом на срезы около 2 см толщиной для общего описания вида поперечных сечений. Затем проводят отбор подходящих образцов объемной опухолевой ткани и краев опухоли, в которых патологи не определили наличие карциномы. Такие образцы отбираются для дальнейшего патогистологического и рамановского анализа. Здесь совместная подготовка образцов для патогистологического и рамановского анализа приводится вместе для их сравнения. После освоения рамановской методики патогистологический анализ можно делать только по рекомендации лечащего врача. С помощью рамановской спектроскопии изучаются два типа ткани грудной железы: толстые (объемные) срезы и тонкие, до 2 мкм. Тонкие образцы получают из замороженной объемной опухолевой ткани с помощью микротома. Толстые срезы не подвергаются какой-либо обработке. Образцы для патогистологического исследования фиксируются в 10% буферном растворе формалина, заливаются парафином, помещаются на предметное стекло, где окрашиваются гематоксилином и эозином. Окрашивания смежных срезов, подготовленных для рамановских измерений, не проводятся. После рамановских измерений тонкие срезы окрашиваются и с ними проводят патогистологическое исследование. Рамановские спектры снимают в чашке Петри с открытой или закрытой крышкой.

**Список литературы**

1. Миргород Ю. А. Фазовый переход жидкость−жидкость в водных растворах н-углеводородов и амфифилов // ПЖТФ. 2010. Т.36. №19. С.37-43.

2. Миргород Ю. А. Водно-углеводородные системы в науке и технике. Курск, 2001. 246 с.

3. Raman and IR spectra of butane: anharmonic calculations and interpretation of room temperature spectra / L.Pele, I. Šebek, E.O.Potma, R.B. Gerber // Chemical Physics Letters. 2011. V. 515. P. 7–12.

4. Raman spectra of long chain hydrocarbons: anharmonic calculations, experiment and implications for imaging of biomembran / L.Pele, I.Sebek, E.O.Potma, R.B. Gerber // Phys. Chem. Chem. Phys. 2011. V.13. P. 12724–12733.

5. Hydrogen bonds of interfacial water in human breast cancer tissue compared to lipid and DNA interfaces / H.Abramczyk, B.Brozek-Pluska, J. Surmacki, J.Jablonska-Gajewicz, R. Kordek // Journal of Biophysical Chemistry. 2011. V. 2. P. 159-170.

*Получено 19.06.12*

**Y.A. Mirgorod,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: yu_mirgorod@mail.ru)

**N.M. Khoryakova, Student,** Southwest State University (Kursk)
(e-mail: natali030119891@rambler.ru)

**RAMAN SCATTERING OF LIGHT OF BUTANE, DECANE, HEALTHY AND CANCER HUMAN TISSUES**

*Analyzed the vibrations of the nuclei in the C-H bonds of butane, decane, D-α-phosphatidylcholine, dipalmitoyl, the hydrocarbon groups of healthy volume, the volume of cancer tissues and in the slice thickness of 0.2 microns cancerous human tissue. The difference in the vibrations of the C-H bonds of healthy and cancerous tissue can be used for the diagnosis of human cancer. It is shown that the shift of the maxima of the band dispersion of radiation in the C-H bonds in a healthy and cancerous tissue is equal to 93 cm-1, and accuracy of the wave number 1 cm-1.*

***Key words:*** *Butane, decane, cancerous tissue, Raman scattering, the oscillations of C-H bond.*

---

УДК 546.714.31:541.124.6

**Е.В. Агеева,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

**Д.А. Сотникова,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)

**А.М. Иванов,** д-р хим. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(тел (4712) 58-71-03)

**ОСОБЕННОСТИ КАТАЛИЗА ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ ГИДРОСУЛЬФИТА НАТРИЯ СОЛЯМИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

*В статье показано, что при жидкофазном окислении гидросульфита натрия добавки солей железа и марганца являются катализаторами с явно выраженными окислительно-восстановительными циклами. При этом указанный катализ возможен при проведении процесса в открытой системе с определённой программой дробной подачи окисляемого соединения.*

***Ключевые слова:*** *гидросульфит натрия, жидкофазное окисление, катализатор, соли переходных металлов.*

***

Соокисление гидросульфита натрия со свежеполученными оксидатами растительных масел, некоторых жиров и смесей растительных масел с жирами лежит в основе промышленного получения эмульгирующих и жирующих составов для кожевенной и других отраслей промышленности [1,2]. Такое соокисление проводится в присутствии соединений переходных металлов, чаще всего карбоксилатов [3]. Вполне ясно, что последнее происходит параллельно жидкофазному окислению гидросульфита натрия молекулярным кислородом и, скорее всего, является сопряженным с ним. Тем не менее, нет достаточных сведений о том, какие соединения, в каком количестве и как сильно влияют на жидкофазное окисление водных растворов гидросульфита натрия в отсутствие органических веществ. Цель данной работы состояла в том, чтобы количественно изучить влияние добавок некоторых металлсодержащих соединений на жидкофазное окисление водных растворов гидросульфита натрия в бисерной мельнице. Полученные результаты рассматриваются ниже.

Поиск вариантов солевых каталитических систем для рассматриваемого окислительного процесса проводился в реакторе типа идеального смешивания с высокой интенсивностью механического перемешивания и при постоянном объеме реакционной смеси. Последнее достигалось тем, что объем раствора вводимого реагента был равен объему отобранной реакционной смеси. Пооперационная схема такого процесса приведена на рис. 1.

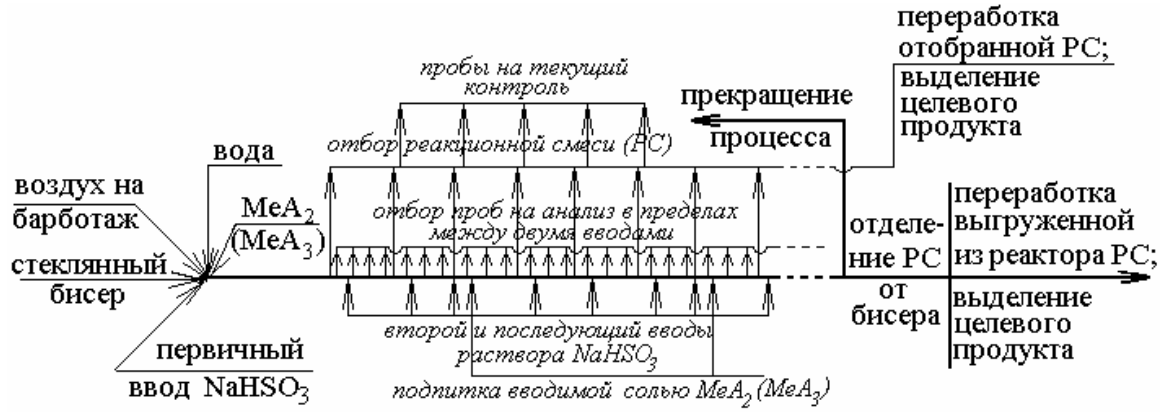



Рис. 1. Пооперационная схема проведения жидкофазного окисления гидросульфита натрия в водном растворе в присутствии добавок металлсодержащих соединений

Известно, что катализатор жидкофазного окисления должен обладать в дополнение к инициирующим и иными функциями. В рассматриваемом случае последними могут быть участие в продолжение цепей при взаимодействии с образующимся по реакции

$^{\bullet}SO_3^- + O_2 \rightarrow {}^{\bullet}OOSO_3^-$ (1)

пероксидным радикалом

$MeA_2 + {}^{\bullet}OOSO_3^- \rightarrow A_2MeOOSO_3^- \rightarrow A_2MeO + {}^{\bullet}OSO_3^-$

$^{\bullet}OSO_3^- + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + HO^{\bullet} + H^+$

$^{\bullet}OSO_3^- + HSO_3^- \rightarrow HSO_4^- + {}^{\bullet}SO_3^-$

$^{\bullet}OH + HSO_3^- \rightarrow H_2O + {}^{\bullet}SO_3^-$ (2)

которое одновременно является и стадией окислительно-восстановительного цикла функционирования катализатора. Возврат же окисленной формы катализатора в восстановленную происходит по реакциям

$A_2MeO + HSO_3^- \rightarrow A_2MeOH + {}^{\bullet}SO_3^- + H_2O$ (3)

$A_2MeOH + HSO_3^- \rightarrow A_2Me + {}^{\bullet}SO_3^- + H_2O$ (4)

Обрыв цепи происходит по реакциям

$^{\bullet}SO_3^- + {}^{\bullet}SO_3^- \rightarrow S_2O_6^{2-}$

$^{\bullet}SO_3^- + {}^{\bullet}OOSO_3^- \rightarrow {}^-O_3SOOSO_3^-$ (5)

и $^{\bullet}OOSO_3^- + {}^{\bullet}OOSO_3^- \rightarrow {}^-O_3SOOSO_3^- + O_2$

В качестве критерия для оценки каталитических свойств добавок солей переходных металлов выбраны не характеристики протекания окислительного процесса в одном звене (т.е. от ввода порции окисляемого соединения до ввода очередной порции в момент практически полного расходования реагента первого ввода), а количество ($n_x$ молей) прореагировавшего гидросульфита натрия в загрузке определенного объема от начала до самопрекращения окислительного процесса, а также динамика изменения указанного количества во времени, т.е. $n_x = f(\tau)$. На практике выявлено 8 типов указанной зависимости. В частности:

1 – автоускоренное начальное развитие с прохождением максимальной скорости и постепенным выходом на самопрекращение;

2 – начало с максимальной скоростью с постепенным некоторым угасанием и выходом на режим с близкой к постоянной скоростью на длительное время;

3 – начало с максимальной скоростью с постепенным более сильным угасанием вплоть до полного самопрекращения;

4 – начало с максимальной скоростью с последующим переходом на кривую типа волны;

5 – в разной степени автоускоренное развитие с прохождением максимальной скорости с последующим участием и дальнейшим развитием по типу 2;

6 – аналог кривой (5) с ускоренным завершением по типу кривой (3);

7 – автоускоренное развитие с переходом на тип волны;

8 – близкое к отсутствию развитие в течении соизмеримой с максимальной длительностью развития процесса для других случаев (около 800-1000 мин).

Характеристики эффективности добавок солей переходных металлов являются функцией природы катиона (табл.) и аниона соли (рис. 2).

Влияние природы катиона сульфата переходного металла на некоторые характеристики окисления гидросульфита натрия кислородом воздуха в бисерной мельнице при комнатной температуре; [$MeSO_4$] = 0,058 моль/л

| Катион вводимой соли | Время (мин) расходования гидросульфита натрия в количестве $n_x$ моль/кг исходной загрузки | | | | | | | | | | Тип кривой |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0 | ($n_{max}$) | $n_x=f(\tau)$ |
| марганца | 23 | 46 | 70 | 95 | 160 | 280 | 365 | 540 | 980 | (6,0) 2100 | 2 |
| железа | 27 | 55 | 83 | 118 | 200 | 360 | 580 | 840 | 1460 | (4,5) 1920 | 2→3 |
| кобальта | 100 | 160 | 210 | 260 | 420 | 635 | 920 | не достигнуты | | (2,75) 1170 | 1 |
| никеля | 130 | 260 | 380 | 500 | 700 | 1300 | не достигнуты | | | (2,1) 1800 | 8→1 |
| меди | 230 | 360 | 480 | 620 | 850 | 1400 | не достигнуты | | | (2,1) 2100 | 8→1 |
| свинца | 580 | 960 | не достигнуты | | | | | | | (0,65) 1500 | 8 |

Хорошо видно, что сульфаты марганца и железа значительно ускоряют рассматриваемый процесс, предопределяя значимый рост величины $n_x$, которую можно достичь до перезагрузки реакционной смеси в реакторе - бисерной мельнице. Сульфат кобальта влияет на рассматриваемые характеристики весьма слабо и вполне может быть отнесен к практически индифферентной добавке. Что же касается сульфатов никеля, меди и особенно свинца, то в их присутствии имеют место явные ухудшения характеристик процесса, что позволяет их классифицировать как своего рода ингибирующие добавки.

Хорошо видно, что природа аниона вводимой соли играет не менее важную роль, чем природа катиона. В случае солей железа наиболее сильный и длительный положительный эффект получен при использовании формиата и фумарата железа (II), бензоата железа (III), сульфата железа (II). Ряд солей железа, обеспечивая высокий положительный эффект в начале, не препятствуют ускоренному наступлению самоторможения, переходящего в самопрекращение процесса (хлорид железа (III)).

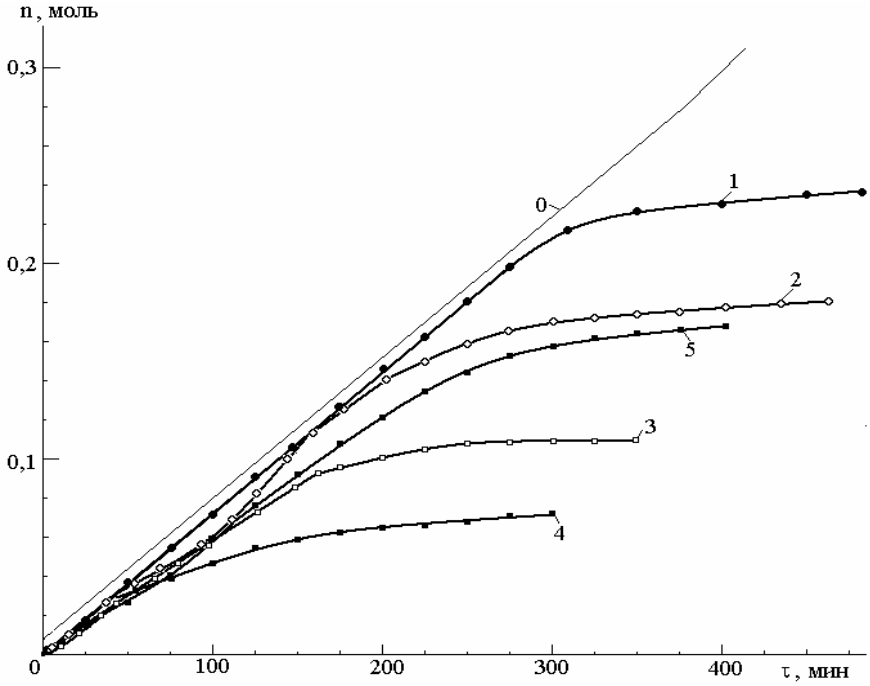



Рис. 2. Поступление гидросульфита натрия в реакционную смесь за счет его дробного ввода (*0*) и его расходование в окислительно-восстановительном процессе проводимого в присутствии вводимой в один прием вначале 0,6 моль/кг соли: сульфата железа (II) (*1*), фумарата железа (II) (*2*), бензоата железа (III) (*3*), хлорида железа (III) (*4*) и ацетата марганца (II) (*5*)

Есть соли, которые в начале вызывают довольно длительные и разные по силе торможения в сравнении с процессом в отсутствие добавки с последующим нарастанием положительного эффекта и обеспечением величин $n_x$, больших, чем в отсутствие добавок вообще (сульфит железа(II+III)). Наконец, есть добавки, тормозящий эффект которых по времени превышает 1000-1500 мин и выход из которого просто не был достигнут (себацинат железа (III)).

Аналогичная картина имеет место и в случае различных солей марганца. Наиболее сильный и длительный положительный эффект обеспечивают сульфат, хлорид и *о*-хлорбензоат марганца; сильный начальный, но ускоренно затухающий – фумарат и сукцинат марганца; отсутствие вначале, а затем возрастающий и длительный – алкоголят с изопропиловым спиртом; начальное ингибирование с последующим вялым развитием – оксалат, формиат, *п* - нитробензоат; с плохо преодолеваемым ингибированием – сульфит и особенно галлат марганца.

Из сказанного выше следует, что далеко не все соли, причем даже одного переходного металла, могут быть катализаторами рассматриваемого окислительно-восстановительного процесса. В данном случае к катализаторам можно отнести лишь те, которые обеспечивают наиболее высокие (в десятки и сотни раз превышающие средние) скорости протекания процесса вначале. Это прежде всего те соли, при использовании которых при дробном вводе гидросульфита натрия создается и поддерживается эффективное и длительное функционирование окислительно-восстановительного цикла, что является обязательным условием для солевого катализатора в процессах жидкофазного окисления различных соединений. Что же касается динамики изменения скорости по ходу процесса, то это относится к способности той или иной соли к взаимодействию с кислыми компонентами реакционной смеси, т.е. к понятиям дезактивации катализатора. Получается так, что природа аниона существенно влияет и на это свойство катализатора.

*Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 год, государственный контракт № 16.740.11.0603 от 30 мая 2011 г.*

**Список литературы**

1. Пат. 2263665 Российская Федерация, МПК С 07 С 309/62. Способ получения сульфированных оксидатов растительных масел, жиров и их смесей / А.М. Иванов, В.М. Жмыхов, И.А. Иванов ; заявитель и патентообладатель Курск. гос. техн. ун-т. – № 2003133052/04; заявл. 11.11.03; опубл. 10.11.05, Бюл. № 31. 7 с.

2. Жмыхов В.М. Некоторые подходы к управлению взаимодействием непредельных соединений с сульфитом-гидросульфитом натрия в водноорганических средах: автореф. дис…. канд. хим. наук 02.00.04. Курск, 2004.

3. Иванов А.М. Конструирование и изготовление лаков для резиновой обуви. Курск, 2007. 336 с.

*Получено 24.05.12*

**Y.V. Ageeva,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

**D.A. Sotnikova,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)

**A.M. Ivanov,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (tel (4712) 58-71-03)

**FEATURES OF CATALYSIS OF LIQUIDPHASE OXIDATION OF SULFITE SODIUM SALTS OF TRANSITION METALS**

*In article it is shown that in liquidphase oxidations of hydrosulphite of sodium additive salts of iron and manganese are the catalysts with the expressed oxidation-reduction cycles. This specified catalyze is possible only at process in open system with the certain program of fractional giving of the oxidized compounds.*

***Key words:*** *Hydrosulphite of sodium, liquidphase oxidations, catalysts, salts of transition metals.*

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

## *Механика*

УДК 6641: 66.067.38

**Е.М. Кувардина,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел. (4712) 58-77-98

**О.Г. Локтионова,** д-р техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

### ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА МЕМБРАН НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ВИБРОУЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

*Целью исследований, изложенных в статье, является изучение влияния деформации мембран на производительность и скорость процессов виброультрафильтрации многокомпонентных растворов .*

***Ключевые слова:*** *мембрана, частота вибрации, производительность, температура, деформации, скорость фильтрации.*

***

Полупроницаемые мембраны, применяемые для разделения многокомпонентных растворов, формируют, в основном, из синтетических полимеров, сополимеров и их смесей. Наибольшее практическое применение в процессах ультрафильтрации получили мембраны на основе целлюлозы, ее производных (ацетат целлюлозы) и полиамидов.

Структура и технологические свойства мембран в значительной мере зависят от природы материала, из которого они сформированы, и методов их получения. Структура мембран определяется химическим строением и составом полимера, от которых зависят такие важные характеристики, как гибкость полимерных цепей, природа и энергия межмолекулярных взаимодействий, а также взаимодействие с компонентами разделяемых растворов. Молекулярная структура в значительной мере определяет физико-химические и механические свойства мембран.

В вопросе определения оптимальных параметров мембранных аппаратов необходимо учитывать физическое состояние мембран в процессе их работы при разделении многокомпонентных растворов под воздействием вибраций. Для этого рассмотрим изменение механических свойств мембран в результате воздействия на них периодических колебаний среды, созданных внесением вибраций низкой частоты в циркулирующий раствор.

К механическим свойствам полимеров относятся: механическая прочность, деформируемость, способность развивать обратимые и необратимые деформации, сопротивление утомлению при многократных деформациях, износ.

В нашей работе в качестве характеристики механических свойств мембраны мы будем пользоваться значением деформаций, возникающих под действием вибраций, вносимых в циркулирующий раствор.

Известно, что одним из факторов, оказывающих влияние на механические свойства полимеров, является температура. Температура протекания процесса выше $60^0$С может негативно сказываться на качестве ряда растворов в процессе ультрафильтрации, поэтому в наших экспериментах температурный интервал находился в пределах 4-$60^0$С. В качестве исследуемого раствора использовали диффузионный сок сахарной свеклы.

В результате давления, создаваемого в аппарате, происходит сжатие мембраны. Переход механической энергии сжатия в тепловую приводит к увеличению температуры самой мембраны [1]. Однако её значения несоизмеримо малы по сравнению с температурой циркулирующего раствора, поэтому мы её не учиты-

ваем. Таким образом, верхний температурный предел, если рассматривать только его влияние, большого практического значения на механические свойства мембраны не оказывает, так как не ведет к переструктуризации материала мембраны. Наибольший интерес вызывает интервал низких температур 2-10$^0$С (рис.1 кривая 2). На начальном периоде производительность аппарата возрастает. Это можно объяснить, с точки зрения структурных свойств полимера тем, что материал мембраны ведет себя как твердое тело, увеличивается плотность упаковки молекул, а, следовательно, и плотность самой мембраны. Это предотвращает образование так называемых «воронок» [2], поэтому на данном этапе процесса наступает явление, когда взвешенные частицы и ВМС остаются на поверхности мембраны в виде коллоидных неустойчивых отложений, которые легко смываются циркулирующим раствором, а низкомолекулярные соединения легко проходят через мелкие поры мембраны, не задерживаясь в них. При таких температурных условиях деформации мембраны, возникающие под действием вибраций, невелики.

С повышением температуры раствора мембрана начинает вести себя как упругое тело, иначе говоря, под периодическим воздействием вибраций происходит изменение расстояний между молекулами полимерного слоя мембраны.

Исследуемый частотный диапазон вносимых в раствор вибраций составлял от 1500 до 10 Гц [2]. Производительность мембраны при всех значениях указанного диапазона частот не менялась, оставаясь в пределах производительности мембранного аппарата, работающего под давлением без внесения в раствор вибраций, и заметно возрастала при воздействии низких частот в пределах 60-70 Гц. Наибольшая производительность в указанном пределе соответствует 67 Гц (рис.2).

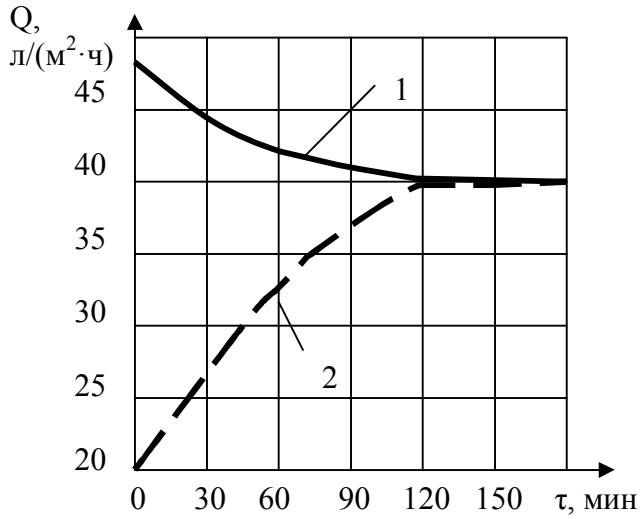



Рис. 1. Зависимость производительности мембраны от времени в первом периоде: 1- начальная температура раствора выше 10$^0$С; 2 – начальная температура раствора 2$^0$С

Попытаемся проанализировать полученный эффект с точки зрения физического состояния мембраны. Известно, что в качестве критерия, характеризующего вязкоэластичные свойства мембраны, можно принять площадь петли гистерезиса, описываемой кривой G=f(P) при последовательном увеличении давления от нуля до некоторого значения, а затем изменения давления в обратной последовательности [3]. Типичная кривая «нагрузка – деформация» при работе мембраны под давлением приведена на рис. 3а. Площадь данной петли гистерезиса может быть представлена в виде суммы двух интегралов:

$$S = \int_0^{\varepsilon_2} \sigma d\varepsilon + \int_{\varepsilon_2}^{\varepsilon^1} \sigma d\varepsilon .$$

В данном случае σ является функцией относительного сжатия ε,

$$\varepsilon = \frac{(h - h_0)}{h_0},$$

а находящееся под знаком интеграла произведение σdε имеет размерность работы, отнесенной к единице объема

$$\sigma d\varepsilon = \frac{F}{S} \cdot \frac{dh}{h_0} = \frac{Fdh}{v}.$$

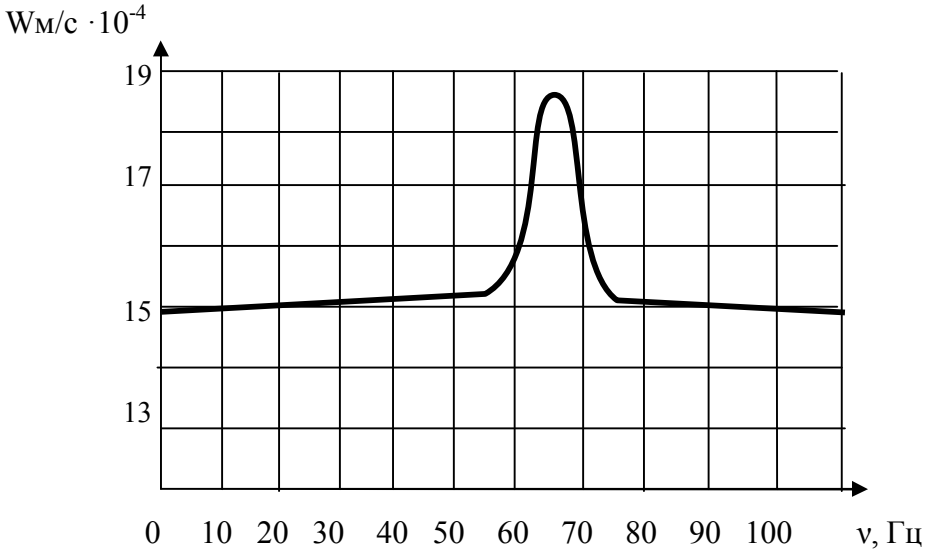



Рис.2. Зависимость скорости фильтрации от частоты колебаний, вносимых в раствор

Таким образом, площадь петли гистерезиса есть разность между удельной работой, затраченной на сжатие (нагружение) мембраны и полученной при разгрузки мембраны.

При внесении вибраций в поток нагружение мембраны происходит неравномерно, следовательно, кривые нагрузки - сжатие и разгрузки – распрямление не совпадают и график, описывающий эти зависимости, будет иметь несколько иной характер (рис. 3б).

При разгрузке материала мембраны одним и тем же значениям нагрузки соответствуют большие значения сжатия, чем при нагружении, и кривая разгрузки не попадает в начало координат, указывая на наличие остаточной деформации в мембране (рис. 3б).

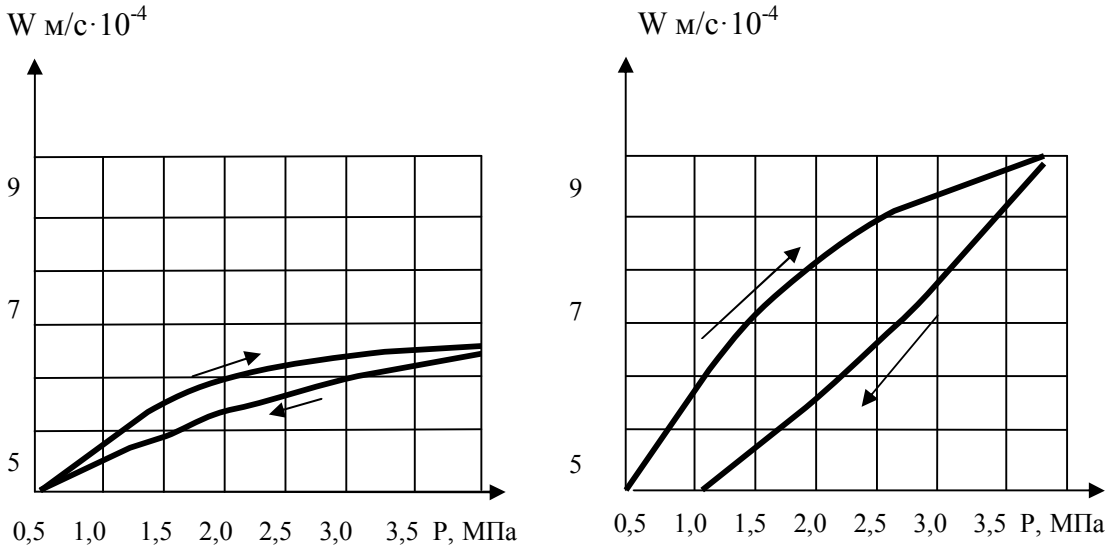



Рис. 3. «Петля гистерезиса» при деформации мембраны: а – при отсутствии вносимых в раствор вибраций; б – при наличии вибраций, вносимых в раствор

Площадь петли гистерезиса зависит от скорости приложения силы, в нашем случае от частоты вносимых в раствор вибраций. Мы полагаем, что при значениях частоты вибраций ниже 60 Гц значения σ и ε близки к равновесному, и кривые нагрузки и разгрузки близки друг к другу, а это говорит о том, что площадь петли гистерезиса имеет небольшое значение. С другой стороны, при значениях частоты вибрации более 70 Гц скорость нагружения материала мембраны очень велика и элементы структуры полимера не успевают перегруппироваться, и материал мембраны деформируется не за счет перегруппировки кинетических единиц, а за счет изменения расстояний между частицами. В этом случае деформация мембраны мала, её значения при нагрузке и разгрузке близки друг к другу, следовательно, площадь петли гистерезиса имеет также небольшое значение.

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

– Площадь петли гистерезиса мала как при очень больших, так и при очень малых скоростях приложения силы и максимальна для тех значений времени действия силы, которые сопоставимы со значением времени релаксации мембраны.

– В пределах частот вибраций, вносимых в циркулирующий поток при ультрафильтрации диффузионного сока сахарной свеклы, соответствующих значениям 60-70 Гц, наблюдается максимальная площадь петли гистерезиса, что подтверждается увеличением производительности мембранного аппарата.

**Список литературы**

1. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. М.: Высш. шк., 1976. 314 с.

2. Кувардина Е.М. Динамика ультрафильтрационного аппарата для разделения диффузионного сока сахарной свеклы: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2003. 143 с.

3. Дытнерский Ю.И. Боромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.

*Получено 05.06.12*

**E.M. Kuvardina,** Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (tel. (4712) 58-77-98)

**O.G. Loktionova,** Doctor of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

**THE INFLUENCE OF THE PHYSICAL STATE OF THE MEMBRANE MATERIAL ON THE PROCESS PERFORMANCE VIBROULTRAFILTRATSII MULTICOMPONENT SOLUTIONS**

*Goal of the research described in the article is to study the effect of deformation of the membrane on the performance and the speed of the processes vibroultrafiltratsii multicomponent solutions.*

***Key words:*** *membrane, the vibration frequency, capacity, temperature, strain rate of filtration.*

---

УДК 62-503.5

**С.Ф. Яцун,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

**С.И. Савин,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: sergey89mtkgtu@mail.ru)

**О.С. Тарасов,** студент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: mechatronicsprojects@gmail.com)

**ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ РОБОТА ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО ТРУБАМ**

*В настоящей статье рассмотрена конструкция испытательного стенда для изучения динамики робота для перемещения по трубам, предложены методики испытания робота с использованием стенда.*

***Ключевые слова:*** *робот для перемещения по трубопроводам, испытательный стенд, испытания, методика, конструкция.*

***

**Введение**

В настоящее время остро стоит вопрос о создании средств автоматизации диагностики внутренних поверхностей трубопроводов. Важность внедрения роботизированных средств диагностики

трубопроводов показана в публикациях [1-5]. В работе [1] рассмотрены проблемы, которые возникают при диагностике современных трубопроводных систем, в том числе засоры, сложные изгибы трубопроводных систем (в том числе L-образные и T-образные), наличие в трубопроводах химически активных веществ. Это определяет повышенные требования, предъявляемые к современным робототехническим системам, предназначенным для перемещения по внутренним поверхностям трубопроводов. С учётом отмеченных повышенных требований, при проектировании роботов для перемещения в трубопроводах, важным представляется проведение лабораторных испытаний и тестов в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации. Для проведения подобных испытаний возможно использование специализированных испытательных стендов.

В данной статье рассматривается испытательный стенд для изучения движения роботов в трубах. По классификациям роботов, перемещающихся по трубопроводам, предложенных в работах [1-3], роботы, испытания которых можно проводить с использованием данного стенда, относятся к червеподобным роботам («inch-worm type», англ.) неавтономного типа.

**Конструкция стенда**

Рассмотрим конструкцию испытательного стенда для изучения динамики робота для перемещения по трубам различного диаметра. Стенд состоит из трёх линейных электроприводов с винтовой передачей, исполнительный орган каждого из которых снабжен средством для закрепления гибкого троса. Оболочки гибких тросов могут быть закреплены на корпусе стенда. В состав стенда также входит блок управления, позволяющий независимо управлять каждым линейным электроприводом. Габаритные размеры стенда составляют 1200x200x500 мм. Мощность каждого из трёх линейных электроприводов составляет 60 Вт, напряжение питания 12 В. Для проведения испытаний используются макеты роботов.

Для проведения серии испытаний над описанным выше роботом был разработан макет, имитирующий его систему поворота. Данный макет состоит из двух частей – основы и поворотной платформы. Поворотная платформа соединена с концами гибких тросов, основа соединена с их оболочками. Данный макет позволяет получить экспериментальные данные о динамике робота в процессе поворота, о деформации робота под действием сил тяжести при транспорте некоей полезной нагрузки, о точности работы системы поворота робота. Также данный макет может быть использован для оценки качества работы системы автоматического управления поворотом робота.

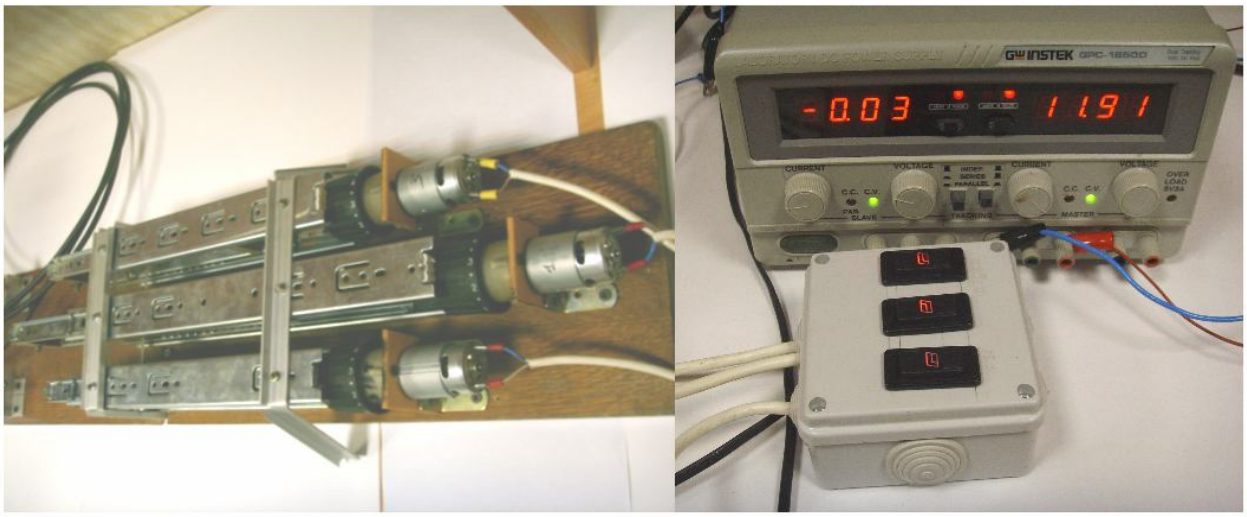



Рис. 1. Внешний вид испытательного стенда (блок электроприводов и блок управления)

**Предлагаемые методики работы со стендом**

Описанный выше стенд может быть использован для проведения различного рода испытаний, в том числе для оценки влияния внешней нагрузки на корпус робота при движении робота вертикально вверх, перемещении горизонтально, при прохождении поворота.

Для исследования влияния нагрузки на работу систем робота при движении вертикально вверх предлагается использовать следующую методику. До начала эксперимента с использованием блока управления линейные электроприводы приводятся в такое положение, что тросы оказываются максимально втянуты. Описанный выше макет располагается таким образом, чтобы основа и поворотная платформа располагались параллельно друг другу в горизонтальных плоскостях. На поворотной платформе размещается груз, имитирующий внешние воздействия на корпус робота. После этого, используя блок управления, тросы постепенно вытягиваются электроприводами. При этом производятся замеры расстояния между основой и поворотной платформой макета и замеры расстояния, на которое переместились рабочие органы электроприводов. Сравнение двух измеряемых величин позволяет оценить степень изгиба тросов в процессе перемещения поворотной платформы вертикально вверх (рис. 2).

Рис. 2. Макет поворотной системы робота в процессе испытания работы при движении вертикально вверх

Для исследования влияния нагрузки на работу систем робота при движении горизонтально предлагается использовать следующую методику. До начала эксперимента с использованием блока управления линейные электроприводы приводятся в такое положение, что тросы оказываются максимально втянуты. На поворотной платформе размещается груз. Макет располагается таким образом, чтобы основа и поворотная платформа располагались параллельно друг другу в вертикальных плоскостях (рис. 3). После этого, используя блок управления, тросы постепенно вытягиваются электроприводами. При этом производятся замеры расстояния перемещения геометрического центра поворотной платформы в вертикальном направлении, и замеры расстояния, на которое переместились рабочие органы электроприводов.

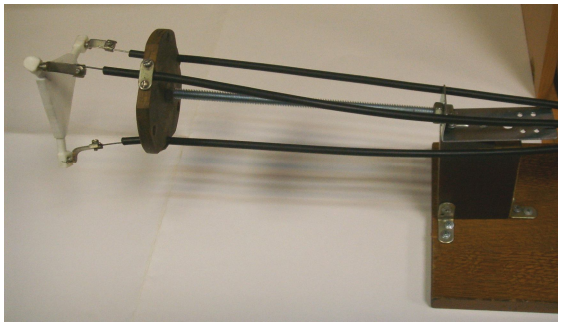


Рис. 3. Макет поворотной системы робота в процессе испытания работы систем робота при движении горизонтально

Для исследования влияния нагрузки на работу систем робота при прохождении поворота предлагается использовать следующую методику. До начала эксперимента с использованием блока управления линейные электроприводы приводятся в такое положение, что тросы оказываются максимально втянуты. На поворотной платформе размещается груз. Макет располагается таким образом, чтобы основа и поворотная платформа располагались параллельно друг другу в горизонтальных плоскостях. После этого, используя блок управления, один из тросов постепенно вытягивается связанным с ним электроприводом. При этом произ-

водятся замеры угла поворота плоскости поворотная платформа относительно горизонтали и замеры расстояния, на которое переместился рабочий орган электропривода, вытягивающего трос (рис. 4).

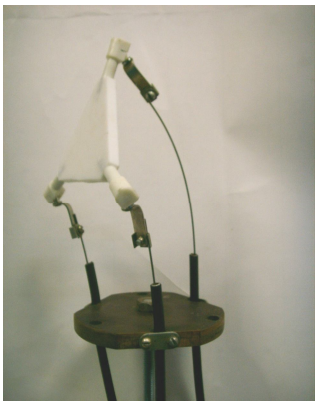


Рис. 4. Макет поворотной системы робота в процессе испытания работы при прохождении поворота

## Заключение

Предложенный стенд может быть использован для испытания различных систем робота для перемещения в трубопроводах. Предложенные методики испытаний могут быть использованы как для оценки качества уже существующих, так и при проектировании новых устройств подобного типа.

## Список литературы

1. Jong-Hoon Kim Sensor-based autonomous pipeline monitoring robotic system // Dissertation submitted to the Faculty of Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy / Louisiana State University. Louisiana, 2011. 100 p.

2. Se-gon Roh Differential-Drive In-Pipe Robot for Moving Inside Urban Gas Pipelines / Se-gon Roh, Hyouk Ryeol Choi // IEEE Transactions on robotics. VOL. 21. NO. 1. February 2005. 17 p.

3. Hyouk Ryeol Choi In-pipe Robot with Active Steering Capability for Moving Inside of Pipelines / Hyouk Ryeol Choi, Se-gon Roh // Bioinspiration and Robotics Walking and Climbing Robots, Maki K. Habib (Ed.). P. 376-402.

4. Shuichi Wakimoto A micro snake-like robot for small pipe inspection [Текст] / Shuichi Wakimoto, Jun Nakajima, Masanori Tanaka, Takefumi Kanda, Koichi Suzumori // Mechanical Engineering fields, Okayama University. Okayama, 2003. P. 303-308.

5. Jatsun S. Mobile worm-like robots for pipe inspection // Service robots robotics: design and application. IGI Global, 2012. P. 191-212.

*Получено 09.07.12*

**S.F. Jatsun,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: teormeh@inbox.ru)

**S.I. Savin,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: sergey89mtkgtu@mail.ru)

**O.S. Tarasov,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: mechatronicsprojects@gmail.com)

**TESTING STAND FOR STUDYING OF THE DYNAMICS OF A IN-PIPE INSPECTION ROBOT**

*In this paper the design of a testing stand for studying of the dynamics of a in-pipe inspection robot is shown. Methods of testing robots by means of the stand were discussed.*

***Key words:*** *In-pipe inspection robot, testing stand, method, design.*

УДК 621.3.035.82

**Д.И. Сафаров,** канд. техн. наук, доцент, университет Сумгаит, Азербайджан (e-mail: teormeh@inbox.ru)

**О.В. Емельянова,** канд. техн. наук, ст. преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

**О.Г. Локтионова,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ

*В работе рассматриваются вопросы математического моделирования движения частицы загрязнений в потоке жидкости и определены параметры, влияющие на процесс её осаждения.*

***Ключевые слова:*** *очистка сточных вод, вибрационные технические процессы, математическая модель.*

***

В последнее время при очистке сточных вод получают распространение вибрационные технологические процессы в сочетании с магнитными способами сепарации и коагуляции. Привлекательность таких технологий очистки можно объяснить их универсальностью, технологичностью, возможностью автоматизации процесса очистки достаточно простыми средствами, а также сопутствующей очистке. Поэтому вопросы исследования в лабораторных и промышленных условиях процесса очистки, а также разработка, экспериментальное исследование и внедрение установок очистки являются актуальными и имеют важное народно-хозяйственное значение [4].

Одним из основных процессов, определяющих качество механической очистки жидкости, являются процессы осаждения, повысить эффективность которого можно, применяя технологии смешивания, магнитной коагуляции и сепарации, транспортирования, фильтрования.

Рассмотрим процесс движения частицы загрязнений в потоке жидкости [1, 2, 3].

В качестве расчетной схемы примем модель, представленную на рисунке. Частица массой m движется в потоке жидкости под действием трех сил: веса частицы G=mg, силы, моделирующей взаимодействие частицы с жидкостью $\bar{R}$, Архимедовой силы $\bar{F}$.

Продольное движение потока жидкости со скоростью $\bar{V}_e$ будет являться переносным. Движение частицы в вертикальной плоскости под действием силы тяжести - относительным $\bar{V}_r$. Абсолютную скорость движения частицы $\bar{V}_a$ найдём как векторную сумму относительной и переносной скоростей:

$$\bar{V}_a = \bar{V}_r + \bar{V}_e. \qquad (1)$$

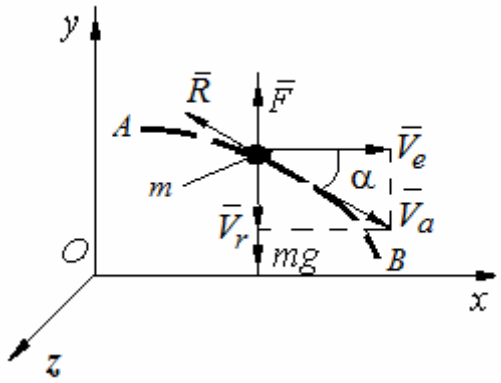



Рис. Расчетная схема движения частицы загрязнений: АВ– траектория движения частиц при осаждении

Пусть движение частицы в потоке жидкости происходит по траектории АВ [5, 6].

Для записи уравнения движения частицы воспользуемся основным законом динамики:

$$m\bar{a} = \bar{G} + \bar{R} + \bar{F}\ . \qquad (2)$$

Считая, что $a = \bar{i}\,\ddot{x} + \bar{j}\,\ddot{y} + \bar{k}\,\ddot{z}$,

где $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ - единичные векторы системы координат, $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}$ - проекции абсолютного ускорения на оси x, y, z .

Силу взаимодействия частицы с жидкостью определяем по формуле:

$$\bar{R} = -\eta \bar{V}_r = -\eta\left(\bar{V}_a - \bar{V}_e\right), \qquad (3)$$

а её проекции равны:

$$\begin{cases} R_x = -\eta\left(V - \dot{x}\right) \\ R_y = -\eta\dot{y} \\ R_z = 0, \end{cases} \qquad (4)$$

где $\eta$ – коэффициент взаимодействия частицы с жидкостью, зависящий от диаметра и формы частицы; $\dot{x} = V_{ax}$, $\dot{y} = V_{ay}$ – проекция абсолютной скорости на оси x и y; $V = V_{ex}$ – проекция переносной скорости на ось x, причём $V_{ey} = 0$.

Проекцию Архимедовой силы F определим как:

$$\begin{cases} F_x = 0 \\ F_y = \rho g v = \gamma v \\ F_z = 0, \end{cases} \qquad (5)$$

где $\rho, g, v$ – соответственно плотность жидкости, ускорения свободного падения, объем частицы; $\gamma$ – удельный вес материала частицы.

В результате уравнение (1) с учетом (4), (5) примет вид

$$\begin{cases} m\ddot{x} = \eta(V - \dot{x}) \\ m\ddot{y} = \gamma v - mg - \eta\dot{y} \\ m\ddot{z} = 0, \end{cases} \qquad (6)$$

В соответствии с рисунком рассмотрим случай, когда mg>γv и V = const. Для плоской системы координат z=0, тогда уравнение (6), разделив его почленно на m: $\bar{\eta} = \frac{\eta}{m}$, обозначив $\gamma v - mg = m\bar{g}$, примет вид:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \bar{\eta}(V - \dot{x}) \\ \ddot{y} = -\bar{g} - \bar{\eta}\dot{y} \end{cases}. \qquad (7)$$

Для решения системы уравнений (7), введем замены:

$$\left(V - \dot{x}\right) = -\dot{\bar{x}}, \quad \frac{\bar{g}}{\bar{\eta}} + \dot{y} = \dot{\bar{y}}. \qquad (8)$$

Тогда с учетом (8) система уравнений (7) примет вид

$$\begin{cases} \ddot{\bar{x}} = -\bar{\eta}\,\dot{\bar{x}} \\ \ddot{\bar{y}} = -\bar{\eta}\,\dot{\bar{y}}. \end{cases} \qquad (9)$$

Интегрируя уравнения (9) путем разделения переменных для начальных условий при t=0 $\dot{\bar{x}} = V_{0x}$, $\dot{\bar{y}} = V_{0y}$, получим:

$$\begin{cases} \dot{\bar{x}} = V_{0x} \cdot e^{-\bar{\eta}t} \\ \dot{\bar{y}} = V_{y0} \cdot e^{-\bar{\eta}t} \end{cases} \qquad (10)$$

Определим $V_{0x}$ и $V_{0y}$ из следующих рассуждений. Пусть в зоне осаждения имеются следующие начальные условия: при t=0

$$x = 0, \quad y = y_0; \quad \dot{x} = \dot{x}_0, \quad \dot{y} = \dot{y}_0.$$

Тогда:

$$V_{0x} = \dot{x}_0 - V, \; V_{0y} = \frac{\bar{g}}{\bar{\eta}} + \dot{y}_0. \qquad (11)$$

Подставляя (11) в (10), с учетом (8) получим:

$$\begin{cases} \dot{x} = V + \left(\dot{x}_0 - V\right) \cdot e^{-\bar{\eta}t} \\ \dot{y} = \left(\frac{\bar{g}}{\bar{\eta}} + \dot{y}_0\right) \cdot e^{-\bar{\eta}t} + \frac{\bar{g}}{\bar{\eta}}. \end{cases} \qquad (12)$$

Интегрируя (12) по времени, получим параметрические уравнения, определяющие направление движения частицы в жидкости:

$$\begin{cases} x = Vt + \left(\dot{x}_0 - V\right)\frac{1}{-\bar{\eta}}e^{-\eta t} + C_3 \\ y = \left(\frac{\bar{g}}{\bar{\eta}} + \dot{y}_0\right)\frac{1}{-\bar{\eta}}e^{-\bar{\eta}t} + \frac{\bar{g}}{\bar{\eta}}t + C_4. \end{cases} \qquad (13)$$

Подставим начальные условия в (13), получим:

$$C_3 = \frac{\dot{x}_0 - V}{\bar{\eta}}; \qquad C_4 = -\left(\frac{\bar{g} + \bar{\eta}\dot{y}_0}{\bar{\eta}^2} + y_0\right). \qquad (14)$$

Анализ этих формул показывает, что расстояние, на которое переместится частица, зависит от начальной скорости жидкости, коэффициента взаимодействия частицы с жидкостью и угла между вектором скорости и ускорения. Таким образом, изменяя эти параметры, можно управлять процессом осаждения частиц, то есть осуществлять управляемую очистку воды от твердых примесей.

**Выводы:** Проведенные исследования показывают, что есть критическая

скорость потока, при которой система оборудования будет забиваться твердыми отложениями. В дальнейшем основное внимание будет уделено расчетам эпюр скорости в различных конструкциях для выявления зон критических течений. На основании этой информации можно управлять процессом осаждения и применять принудительные устройства, исключающие отложения в нежелательных точках системы очистки.

**Список литературы**

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. 840 с.

2. Механика жидкости и газа. Избранное / под общей ред. А.Н.Крайко. М.: Физматлит, 2003. 752 с.

3. Яцун С.Ф., Емельянова О.В., Политов Е.Н. Моделирование движения жидкости в прецизионном дозаторе // Известия Самарского научного центра Российской академии наук Президиум СНЦ РАН. 2009. №5(2). Т.11. С.373-377.

4. Сафаров, Д.И. Динамика глубинного вибратора с гибким рабочим органом // Вибрационные машины и технологии: сб. науч.тр. Курск, 1999. С.108-113.

5. Jatsun S., Safarov J. Mathematical model of granular material in a vibrating boiling [Texst] // Layers EUROMECH Colloquium 425. Aberdeen (Scotland), 2001. P.322-326.

6. Jatsun S., Safarov J., Loktionova O. Mathematical Modeling of Processing of Granular Material in a Vibroboiling Layer [Texst] // First International Symposium on Microgravity Research and Applications in Fhisical Sciences and Biotechnology. Sorrento (Italy), 2000. P.233-239.

*Получено 28.05.12*

**D.I. Safarov,** Candidate of Sciences, Associate Professor, Sumgait University, Azerbaijan (e-mail: teormeh@inbox.ru)

**O.V. Emelianova,** Candidate of Sciences, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

**O.G. Loktionova,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

**MODELLING OF PROCESS OF MOVEMENT OF THE PARTICLE OF POLLUTION IN THE LIQUID STREAM**

*In the article questions of mathematical modeling of movement of a particle of pollution in a stream of liquid are considered and the parameters influencing process of its sedimentation are defined.*

***Key words:*** *sewage treatment, vibrating technical processes, mathematical model.*

---

УДК 532.13

**С.Ф. Яцун,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

**Е.Н. Политов,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: politovyevgeny@rambler.ru)

**Ю.А. Гапонов,** канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

**ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ**

*В статье описывается принцип работы и схема прибора для определения реологических свойств жидкостей, основанный на исследовании сдвигового течения среды в кольцевом зазоре двух цилиндров, приводимых во вращение от независимых электроприводов.*

***Ключевые слова****: жидкость, вязкость, прибор, биротрный вискозиметр, микроконтроллер.*

***

Измерение реологических параметров жидкостей является важной задачей во многих отраслях промышленности: пищевой, автомобильной, химической, в

медицинской деятельности. При этом важным является обеспечение непрерывного контроля за свойствами материала при высокой точности и автоматизации измерений.

Реологические свойства жидких сред зависят от множества параметров, таких, как окружающая температура, плотность среды, скорость течения, наличие включений (загрязнений), неоднородность среды и т.д.

В связи с этим актуальной является задача разработки методики измерений и универсального контролирующего устройства, позволяющего исследовать реологические свойства жидких сред с установлением зависимости между тензором напряжений образца и тензором деформаций в широком диапазоне скоростей деформаций и температур, а также влияния объёмной плотности твёрдых и других примесей на реологические свойства несущей фазы.

Для определения реологических параметров предлагается использование биротворного вискозиметра, принцип работы которого заключается в исследовании сдвигового течения среды в кольцевом зазоре двух цилиндров, приводимых во вращение от независимых электроприводов (рис.1). Биротворный вискозиметр создаёт сдвиговое напряжённое состояние материала.

Предлагаемый прибор представляет собой ротационный вискозиметр, рабочей областью которого являются два коаксиальных цилиндра, каждый из которых приводится во вращение двигателем постоянного тока [1-4].

Схема прибора приведена на рис. 2.

Вискозиметр содержит наружный цилиндр 1, заполненный исследуемой средой 2, приводимый во вращение посредством реверсивного двигателя постоянного тока 3 и упругой муфты 4, и внутренний цилиндр 5, приводимый во вращение от двигателя 6.

На вал двигателя 3, а также на торцевые поверхности цилиндров 1 и 5 насажены перфорированные диски, соответственно 7,8 и 9.

Диски 7 и 8 вращаются в зазоре между излучателем и приёмником открытой оптопары 10. Диск 9 вращается в зазоре открытой оптопары 11. Оптопары 10 и 11состоят из излучающего диода ИК-диапазона АЛ 164 А и фотоприёмника ФД 263.

Сигналы с приёмников оптопар 10 и 11 поступают на входные линии LPT-порта 12 стандартного персонального компьютера. В систему введён генератор опорной частоты для привязки полученных отсчётов ко времени.

Для управления двигателями используются интегрально-монолитные блоки транзисторных ключей 14, работающих в режиме широтно-импульсного модулирования выходного напряжения. Управляющий сигнал формируется программно.

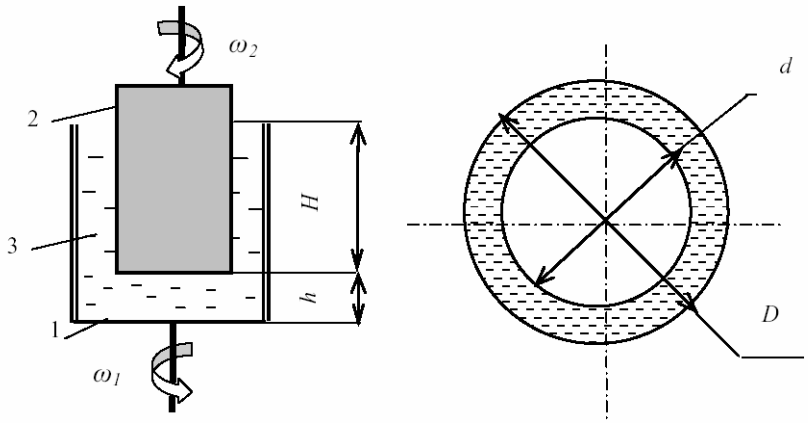



Рис. 1. Схема способа измерений реологических свойств жидкостей:
1 – внешний цилиндр; 2 – внутренний цилиндр; 3 – исследуемая среда

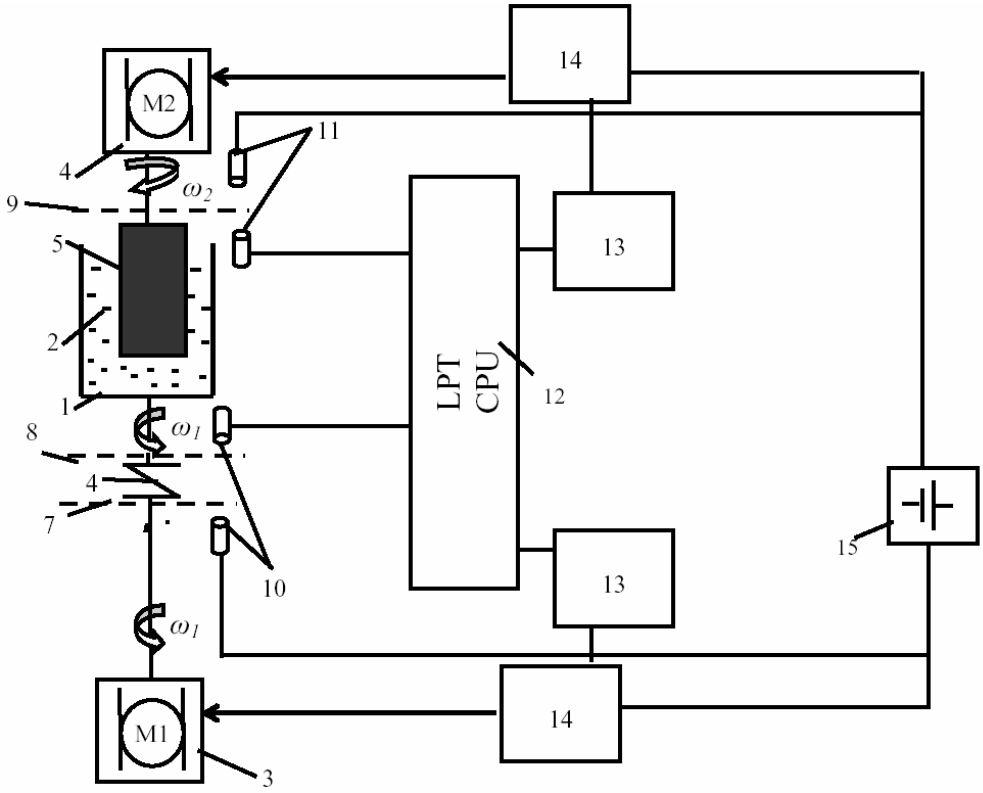



Рис. 2. Схема работы вискозиметра и измерения основных параметров

Двигатели 3, 6 и оптопары 10, 11 и блоки управления 14 коммутируются с блоком питания 15.

Измерение угловой скорости внутреннего цилиндра происходит следующим образом. На внутреннем цилиндре укреплён диск 9 с 6 прорезями, выполняющий функцию прерывателя светового потока оптопары 11. При вращении цилиндра наблюдается 12 смен уровня освещённости оптического датчика. Сигнал с оптического датчика 11 в засвеченном и затемнённом состоянии, поступающий на входные линии LPT-порта, представлен на рис. 3. Полученный в цифровой форме сигнал обрабатывается программными средствами с применением интегрированной среды разработки приложений Borland Delphi 6; при этом вычисляется время продолжительности импульсов на нулевом и единичном уровнях с использованием сигнала от генератора в качестве эталона времени. Результатом обработки исходного сигнала является массив значений, отражающих длительность освещённого и неосвещённого состояния оптического датчика.

Полученный массив значений обрабатывается средствами программно-вычислительного пакета Mathcad Professional 2001, в результате определяется угловая скорость вращения цилиндра по формуле

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 1000}{12T} \approx \frac{523,4}{T}, \qquad (1)$$

где T – усреднённая длительность импульсов за один оборот цилиндра, мс.

Измерительная система наружного цилиндра представляет собой два перфорированных диска, таким образом, что один из них соединён непосредственно с валом двигателя, а другой - упругим элементом 4 дисков с наружным цилиндром. Вследствие наличия сопротивления среды вращению происходит деформация упругого элемента муфты 4.

В результате изменяется скважность сигналов, получаемых с приёмника оптопары 10 [3]. По степени изменения скважности импульсов можно судить о

деформации упругого элемента, которая, в свою очередь, зависит от момента сопротивления среды, т.е.

$$\Delta t = t'_2 - t'_1 = f(M_c), \quad (2)$$

где $t'_1$, $t'_2$ –длительность соответственно засвеченного и затемнённого состояния оптического датчика 10 [5].

Таким образом, в результате получаются значения угловых скоростей цилиндров и момента сопротивления среды, т.е. фактически – зависимость силы сопротивления среды от скорости сдвига.

Управление скоростью вращения электродвигателей осуществляется при помощи интегрально-монолитного блока МК 306 в режиме широтно-импульсной модуляции. Данный блок позволяет регулировать скорость вращения в широком диапазоне. Каждый блок использует две выходных линии стандартного LPT-порта персонального компьютера.

Схема системы автоматического управления вискозиметра представлена на рис. 3.

Двигатель механически связан с тахогенератором, который генерирует напряжение, пропорциональное скорости вращения вала двигателя. Далее сигнал поступает на усилитель и на сумматор, который находит разницу между планируемой и полученной скоростью. ПИД–регулятор (пропорционально-интегро-дифференциальный), используя полученную разность, формирует управляющее воздействие на двигатель [6].

Разработано также автономное устройство с компьютерным управлением на базе микроконтроллера ATmega64. Его схема приведена на рис. 4.

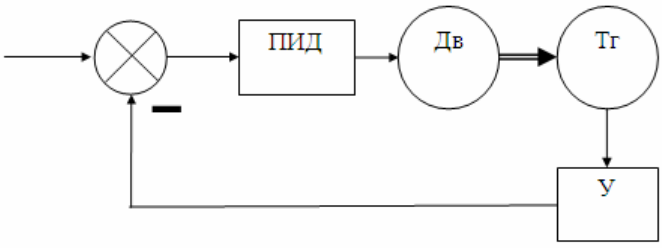



Рис. 3. Схема САУ вискозиметра

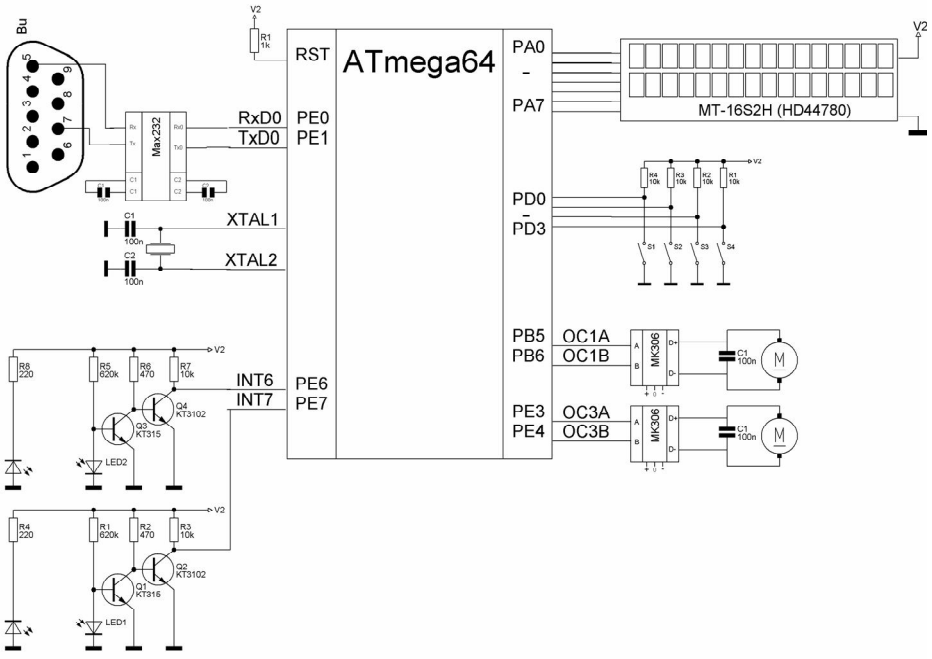



Рис. 4. Принципиальная схема системы управления прибором

Описанное устройство представляет собой автономный прибор, обеспечивающий автоматизированные и оперативные измерения при их высокой точности. Себестоимость прибора существенно ниже существующих аналогов.

*Работа выполнена в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг (государственный контракт № П971 от 27.05.2010).*

**Список литературы**

1. Патент на полезную модель 36527 Россия. МКИ G 01 N 11/00. Ротационный вискозиметр дифференциального типа / С.Ф. Яцун, Е.Н. Политов, В.А. Шеполухин. Опубл. 10.03.2004. Бюл. № 7 – 1 с.

2. Патент на полезную модель 43648 Россия, МКИ G 01 N11. Биротворный вискозиметр / С.Ф. Яцун, Е.Н. Политов, Д.Ю. Шоренков. Опубл. 27.01.2005 Бюл. № 3.

3. Патент на полезную модель 63532 Россия, МПК G01 N 11/00. Биротворный вискозиметр / С.Ф. Яцун, Е.Н. Политов, Ю.А. Горин, М.С. Нефёдов. Опубл. 27.07.07. Бюл. № 15

4. Патент на полезную модель 86011 Россия, МПК G01 N 11/00. Биротворный вискозиметр / С.Ф. Яцун, Е.Н. Политов, М.С. Нефёдов. Опубл. 20.08.09

5. Яцун С.Ф., Политов Е.Н. Методика определения реологических параметров жидких сред посредством численной аппроксимации // Известия Курск. гос. техн. ун-та. 2005. № 1 (14). С. 12-17.

6. Политов Е.Н., Горин Ю.А. Экспериментальное исследование динамики биротворного вискозиметра // Вибрационные машины и технологии: Ч. 2: сб. науч. тр.: в 2 ч. Курск, 2005. Ч.2. С. 129-132

*Получено 21.06.12*

**S.F. Jatsun,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: teormeh@inbox.ru)

**E.N. Politov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)
(e-mail: politovyevgeny@rambler.ru)

**Y.A. Gaponov,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk)
(e-mail: teormeh@inbox.ru)

**THE DEVICE FOR DETERMINATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF LIQUIDS**

*Article describes the principle of work and scheme of the device for determination of rheological properties of the liquids, based on research of a shift current of the medium in a ring gap of two cylinders, given to rotation from independent electric drives.*

***Key words:*** *liquid, viscosity, instrument, byrotoric viscometer, microcontroller.*

# Физика

УДК 535 + 622.765 + 621.373

**А.П. Кузьменко,** д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: apk3527@mail.ru)

**Н.А. Леоненко,** с.н.с., Институт горного дела ДВО РАН (Хабаровск) (e-mail: leonenko@igd.khv.ru)

**И.Ю. Рассказов,** д-р техн. наук, директор, Институт горного дела ДВО РАН (Хабаровск) (e-mail: adm@igd.khv.ru)

**И.В. Храпов,** ст. преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: igor-khrapov@yandex.ru)

## ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

*В работе представлен анализ результатов лазерной обработки минерального сырья Курской области, сопровождаемый дезинтеграцией, термокапиллярным извлечением и лазерной агломерацией ультрадисперсных включений благородных и редкоземельных металлов за счет высокого поверхностного натяжения, характерного для таких металлов.*

***Ключевые слова**: лазерное излучение, дефрагментация, агломерация, термокапиллярные явления, минеральное сырье, техногенные продукты.*

***

Использование СВЧ –, электроимпульсной, магнитно-импульсной, электрохимической обработки, электродинамического и ударно-волнового воздействия [1] открывает возможности комплексно, в одном технологическом подходе, дефрагментировать исходное минеральное сырье. Лазерная агломерация инициируется как при импульсной, так и при непрерывной лазерной обработке [2] минеральных ассоциаций и техногенных образований с формированием видимых микрообразований с размерами до нескольких сотен мкм.

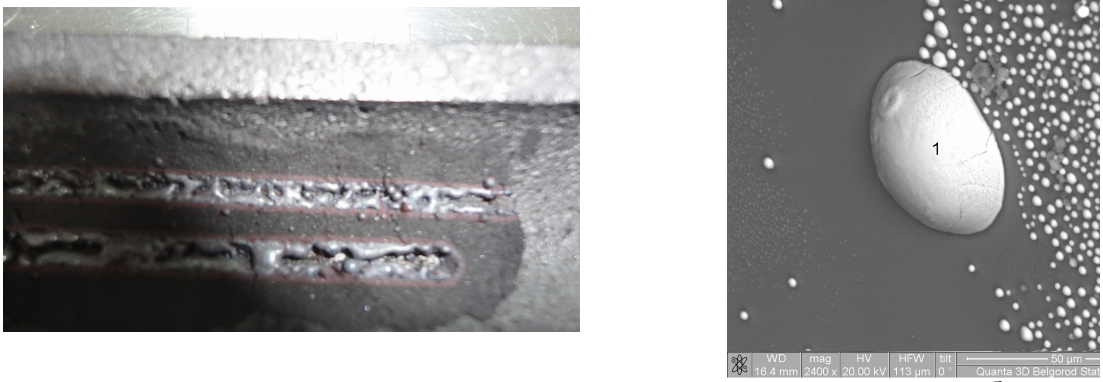
В настоящей работе изучено воздействие лазерного излучения с длинами волн в ближнем ИК-диапазоне на образцах минерального сырья «Югозапгеологии» (г. Курск), содержащих незначительные включения благородных и редкоземельных металлов, не извлекаемые традиционными методами.

Исследования выполнялись на технологической установке ЛТА4 – 1 с импульсным твердотельным лазерным источником на основе YAG:$Nd^{3+}$ с генерацией на $\lambda = 1064$ нм (Курское ОАО «Прибор»). Излучение фокусировалось в пятно с размерами 2 и более мм. Интенсивность устанавливалась достаточной для переплава исходных продуктов. С целью установления оптимальных режимов обработки применительно к каждому исследуемому составу изменялась частота следования импульсов в пределах от 1 до 150 Гц и длительность импульсов от 2 до 20 мс, а также энергия лазерного излучения вплоть 30 Дж. Лазерная обработка в непрерывном режиме или в режиме импульсной модуляции выходной мощности проводилась и на технологической установке ЛС – 1 с источником излучения на основе оптоволоконного лазера, активированного иттербием, на длине волны излучения в пределах $\lambda = 1065 – 1080$ нм (Курское ОАО «Прибор»). Мощность непрерывного излучения могла изменяться вплоть до 1 кВт, а импульсная модуляция выходной мощности осуществлялась с частотой 2 кГц и временем включения/выключения изменяемым до 100 мкс.

Многообразие минералогических включений в составе исследованных образцов проиллюстрировано таблицей. По данным конфокальной микроскопии исходные продукты и их спеки обладают значительной неоднородностью, как минералогической, так и фракционной.

Элементный состав проб ОАО «Югозапгеологии» (г. Курск)

| Наименование пород | Содержание элементов, $10^{-3}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Au, г/т | Ag, г/т | Pt, г/т | Ti | V | Cr | Ni | Co | Mo | Cu | Pb | Zn | Sn | W | As | Sb | Mn | Zr |
| Карбонатная порода с пиритом | 0,2 | 0,6 | – | 150 | 3,5 | 12 | 6 | 2 | 01 | 50 | 4 | 30 | 0,15 | – | Сл | Сл | 60 | 20 |
| Сланец углеродистый пиритизированный | 0,53 | 0,4 | – | 400 | 20 | 12 | 8 | 1,5 | 03 | 7 | 5 | 10 | 0,15 | – | Сл | – | 100 | 20 |
| Сланец углеродистый пиритизированный | 0,14 | 0,4 | – | 300 | 40 | 10 | 6 | 1,2 | 0,3 | 5 | 10 | 7 | 0,15 | – | 10 | – | 80 | 60 |
| Туфосланец с пиритом | 1,0 | 15 | – | 800 | 40 | 8 | 15 | 30 | 0,4 | 50 | 3 | 10 | 1 | 10 | 40 | 1,5 | 40 | 15 |
| Сланец углеродистый с андалузитом | 0,65 | 4,0 | 0,084 | 8 | 1 | 6 | 4 | 1 | 0,4 | 10 | 2 | 150 | – | – | – | – | 40 | 0,4 |




а б

Рис. 1. Иллюстрация лазерной обработки: а – внешний вид продуктов обработки; б – типичное растровое изображение внутренней поверхности лазерного спека

Структурные растровые электронно-микроскопические исследования (как демонстрирует рис.1, в) показали значительное морфологические различия образцов, как до-, так и после лазерной обработки.

Дисперсные образцы с включениями ультрадисперсного золота, платиноидов и редкоземельных металлов обрабатывались в соответствии с методом [2].

По данным гранулометрического анализа внутренних и внешних оболочек спеков в конфокальном микроскопе Aist-NT установлено, что размеры частиц варьируются в широком диапазоне 1÷500 мкм и наиболее эффективно возникают при лазерной обработке мощностью 100 ÷400 Вт.

Исходные и обработанные составы образцов изучены методами растровой микроскопии (Leo Evo 40HV или Quanta 200) с использованием энергодисперсионного анализатора (Inca-Energy). Атомно-силовые микроскопические исследования проводились с помощью сканирующего зондового микроскопа (AistNT SmartSPM) для выявления структурных изменений в образцах. Химические структурные изменения до- и после лазерной обработки изучены методом комбинационного (рамановского) рассеяния света (КРС) на установке (OmegaScope). В качестве примера на рис. 2 представлен спектр КРС для карбонатной породы с пиритом. При лазерной обработке происходит перестройка спектра КРС на 482 – 484 $см^{-1}$ независимо от режима обработки с изменением интенсивности линий: с 19 до 137 при 100 Вт и затем снижение до 67 – 300 Вт, объясняемое с начала частичным испарением, а затем восстановлением данной химической структуры под действием лазерного излучения.

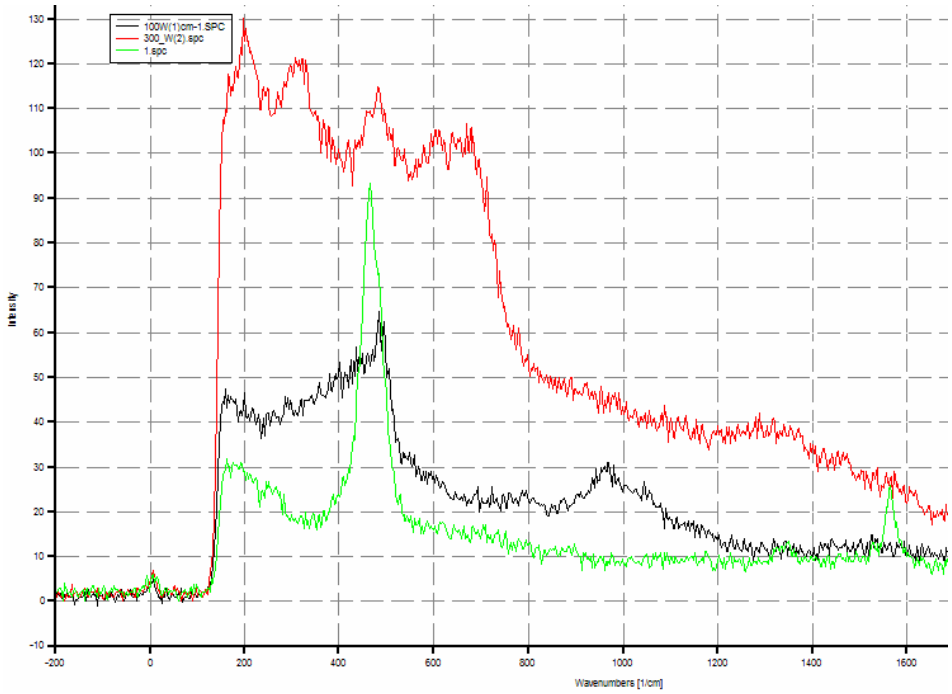



Рис. 2. Изменения в спектрах комбинационного рассеяния карбонатной породы с пиритом

Для образца туфосланца с пиритизацией были получены спектры КРС для областей с различным цветом в конфокальном микроскопе. Для области с желтым блеском возбуждается линия – 392 см$^{-1}$ с интенсивностью в 5 раз превышающей все остальные: 1074 и 219 относительных единицы. Столь существенное ее возрастание на остальном фоне может быть объяснено эффектом, так называемого, поверхностного усиления рамановского рассеяния (SERS) [3], что указывает на наличие ультрадисперсного золота по данным КРС. Область с серым оттенком, помимо линий 293, 456, 640 см$^{-1}$, характеризуется сильной флуоресценцией, начиная с линии 1568 см$^{-1}$, когда возбуждаются вращательные колебания, которые характеризуются наличием достаточно протяженной области осцилляций с одинаковым периодом – 20 см$^{-1}$ в интервале 217 см$^{-1}$. Используя соотношение: $\Delta\nu = C\Delta\lambda/\lambda^2$, которое связывает длину волны возбуждения $\lambda$ и период осцилляций – $\Delta\lambda$ можно рассчитать соответствующее изменение частоты $\Delta\nu$ для каждой из 9 интервалов в области с вращательными колебаниями, что свидетельствует об превращениях в минералогической фазовой структуре при лазерной обработке.

Несколько иной вид у полного спектра для области с темным оттенком: кроме линий 216, 352 и 434 см$^{-1}$ также возбуждаются вращательные колебания с периодом осцилляций до 48 см$^{-1}$ и на 2 порядка растет интенсивность флуоресценции за пределами 2258 см$^{-1}$. По ширине наблюдаемого пика на полувысоте (FWHM) для каждой линии ($\Gamma_m$) в спектре КРС и значениям частот ($\omega_m$) могут быть получены плотности на уровне Ферми ($E_F$), согласно зависимости, предложенной П.Б. Алленом [4]: $\Gamma_m/\omega_{m2} = 2\pi\lambda_m N(E_F)/g_m$, где $\lambda_m$ – соответствует электрон-фононным взаимодействиям для данного минерального соединения. Так как состояния вырожденных колебаний – $g_m$ для минерала определяются из неприводимых представлений в соответствии с пространственной его группой, в частности, они определяются полным тензором КРС, то на основании уравнения Аллена может быть рассчитана плотность электрон-фононных состояний на уровне Ферми для $m$ – возбуждения. Величина $N(E_F)$ определяет фононные колебания выше температуры перехода $T$, то

есть фактически по ней возможна оценка энергии колебаний при фазовых превращениях, что расширяет сведения о составе и структуре до – и после лазерной обработки.

Спектры КРС преобразовывались в текстовые файлы и просматривались с помощью специально разработанной программы Crystal Sleuth в базе данных RRUFF, включающей 5000 минеральных соединений. К примеру, для анализа уже описанного спектра туфосланца с пиритизацией (табл. 1) после его ввода в текстовом формате в программу Crystal Sleuth было предложено несколько возможных аналогов. Совместное использование данных по элементному составу с данными КРС позволяло детализировать химическую структуру изучаемых минеральных соединений. Естественно, для более качественной идентификации получаемых спектров, требуется использование, помимо КРС, и других аналитических методов.

Подводя итоги, можно заключить, что лазерные методы находят все более широкое применение для анализа минерально-сырьевой базы золота и платиноидов и выступают в качестве одного из путей повышения уровня их извлечения, решения экологических проблем, адекватно отвечают все большему смещению структуры добываемых благородных и редкоземельных металлов в сторону их измельчения.

*Работа выполнялась в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2012 годы (ГК Р391, Р547, Р391).*

**Список литературы**

1. Чантурия В.А., Бунин И.Ж. Нетрадиционные высокоэнергетические методы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов // ФТПРПИ. 2007. №3. С. 107 – 139.

2. Термокапиллярный механизм лазерной агломерации ультрадисперсного и коллоидно-ионного золота / А.П. Кузьменко, Н.А. Леоненко, В.И. Харченко, Н.А. Кузьменко, И.В. Силютин, И.В. Храпов /// Письма в ЖТФ. 2009. 35(18). С. 1–12.

3. Gold surface with gold nitride–a surface enhanced Raman scattering active substrate / A.C. Brieva, L. Alves, S. Krishnamurthy, L. Siller1 // Journal of Applied Physics – 2009. V. 105. P. 054302(4).

4. Tiwari S., Phase D.M., Choudhary R.J. Probing Antiphase Boundaries in $Fe_3O_4$ Thin Films Using Micro-Raman Spectroscopy // Appl. Phys. Lett. 2008. V. 93. P. 234108(3).

*Получено 18.05.12*

**A.P. Kuzmenko,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: apk3527@mail.ru)

**N.A. Leonenko,** Researcher, Mining Institute FEB RAS (Khabarovsk) (e-mail: leonenko@igd.khv.ru)

**I.U. Rasskazov,** Doctor of Sciences, Director, Mining Institute FEB RAS (Khabarovsk) (e-mail: adm@igd.khv.ru)

**I.V. Chrapov,** Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: igor-khrapov@yandex.ru)

**LASER TREATMENT AND MAN-MADE MINERAL FORMATION**

*The paper presents an analysis of the results of laser processing of mineral raw materials and industrial products, followed by disintegration, thermocapillary extraction and laser agglomeration of ultrafine inclusions of precious and rare earth metals due to the high surface tension, which is characteristic for them.*

***Key words:*** *laser light, defragment, agglomeration, thermocapillary effects, minerals, man-made products.*

УДК 538.951

**В.М. Полунин,** д-р физ.-мат.наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: polunin-vm1@yandex.ru)

**А.М. Стороженко,** канд. техн. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: storogenko_s@mail.ru)

**А.О. Танцюра,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)

# МАГНИТОГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ И АКУСТОГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАНОДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ СИЛЬНОКОНЦЕНТРИРОВАННОЙ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

*Представлены результаты расчета предельных значений диаметра и магнитного момента наночастиц магнитной жидкости. Концентрация твердой фазы в образце составляет 25,6%. Исследование проведено двумя способами: акустическим и на основе кривой намагничивания. Полученные результаты сравниваются между собой.*

***Ключевые слова**: магнитная жидкость, наночастицы, гранулометрический анализ, кривая намагничивания, акустомагнитный эффект.*

***

Актуальность исследований связана с тем, что физические свойства магнитных жидкостей (соответственно и области возможного применения) в основном определяются их дисперсным составом и степенью взаимодействия частиц друг с другом и несущей жидкостью.

Изучение нанодисперсной фазы МЖ на основе измерения магнитной проницаемости коллоида и ее частотной зависимости в переменных магнитных полях возможно лишь для дисперсных систем с малой вязкостью. Применение методов электронной и сканирующей зондовой микроскопии ограничено в связи с тем, что проводится исследование образцов в отвердевшем состоянии, без изучения кинетических свойств феррочастиц и процессов их агрегации. Акустическая методика исследования нанодисперсных коллоидных растворов лишена этих недостатков. Она позволяет получить информацию и о свойствах коллоидных растворов, и о параметрах отдельных наночастиц с учетом их динамики [1].

Целью данной работы является получение оценочных значений магнитного момента и диаметра крупных и мелких частиц нанодисперсной фазы сильноконцентрированной МЖ на основе двух методик: магнитогранулометрического [2] и акустогранулометрического анализа [3].

Исследования проведены на магнитной жидкости, представляющей собой магнитный коллоид, дисперсной фазой в котором служит магнетит $Fe_3O_4$, дисперсионной средой – керосин, а стабилизатором – олеиновая кислота. Используемый сильноконцентрированный образец был приготовлен путем длительного высушивания части изначально заготовленного коллоида при открытой его поверхности с принятием необходимых мер для защиты от попадания пыли и других загрязнений.

Физические параметры исследуемого образца ($\rho$ – плотность, $\varphi$ – концентрация твердой фазы, $\chi$ – начальная магнитная восприимчивость, $M_s$ – намагниченность насыщения, $c$ – скорость звука в системе «МЖ – стеклянная трубка», $q$ – температурный коэффициент расширения; $C_p$ – удельная теплоемкость при постоянном давлении), полученные при температуре $T = 303$ К, представлены в таблице.

| Образец | $\rho$, кг/м$^3$ | $\varphi$, % | $\chi$ | $M_s$, кА/м | $c$, м/с | $q\cdot10^3$, 1/К | $C_p$, Дж/кгК |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| МЖ | 1935 | 25,6 | 7,1 | 94,6 | 811 | 0,66 | 1760 |

Плотность МЖ определялась с помощью пикнометра. Погрешность измерения ρ составляет 0,2%. Для вычисления объемной концентрации твердой фазы φ использовалась формула смешения. Этот результат является приближенным, так как в нем не учитывается наличие поверхностно-активного вещества на магнитных частицах.

При вычислении параметров q и $C_p$ также использовались формулы смешения, в которых принималось:

- для магнетита $C_p$=652 Дж/кгК [4], $q=1{,}2\cdot10^{-4}$ $К^{-1}$ [5],
- для керосина $C_p$=2140 Дж/кгК [6], $q=8{,}5\cdot10^{-4}$ $К^{-1}$ [1].

Для нахождения начальной магнитной восприимчивости и намагниченности насыщения МЖ, а также определения магнитных и геометрических параметров наночастиц магнитогранулометрическим способом были построены кривые намагничивания коллоида. Они были получены баллистическим методом на экспериментальной установке, блок-схема которой представлена на рисунке 1.

Ампула с исследуемым образцом вставляется в одну из катушек индуктивности 1, включенных встречно. Намагниченность определяется по фиксации микровеберметром 2 изменения магнитного потока, пронизывающего витки измерительной катушки при повороте ее на 180° вокруг оси, перпендикулярной к линиям напряженности магнитного поля. Магнитное поле создается электромагнитом 3, подключенным к источнику постоянного тока 4. Оно является однородным и измеряется тесламером 5, снабженным датчиком Холла 6.

Построение зависимости намагниченности МЖ от величины напряженности внутреннего магнитного поля осуществлялось по методике, изложенной в [1]. Преимущество данного метода заключается в том, что он абсолютный.

Кривая намагничивания исследуемого образца представлена на рисунке 2.

Начальная магнитная восприимчивость χ определялась по наклону начального (прямолинейного) участка кривой M(H).

Параметр $M_s$ находился путем линейной аппроксимации зависимости $M(H^{-1})$ в окрестности $H^{-1}\approx 0$ и экстраполяции полученной прямой до пересечения с осью ординат (рис. 3). Аппроксимация проводилась средствами Microsoft Excel.

С помощью кривой намагничивания определялись условные максимальный и минимальный диаметры магнитных наночастиц. На кривизну начального участка этой кривой, прежде всего, оказывают влияние наиболее крупные частицы, в то время как верхний участок кривой намагничивания формируется под влиянием мелких частиц.

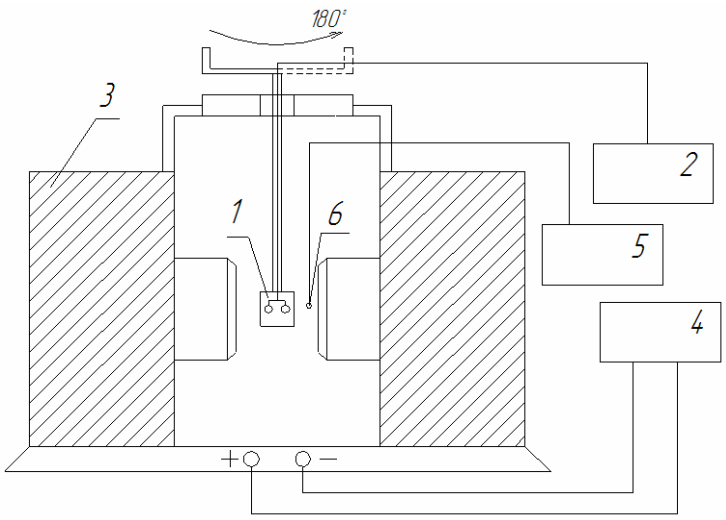



Рис. 1

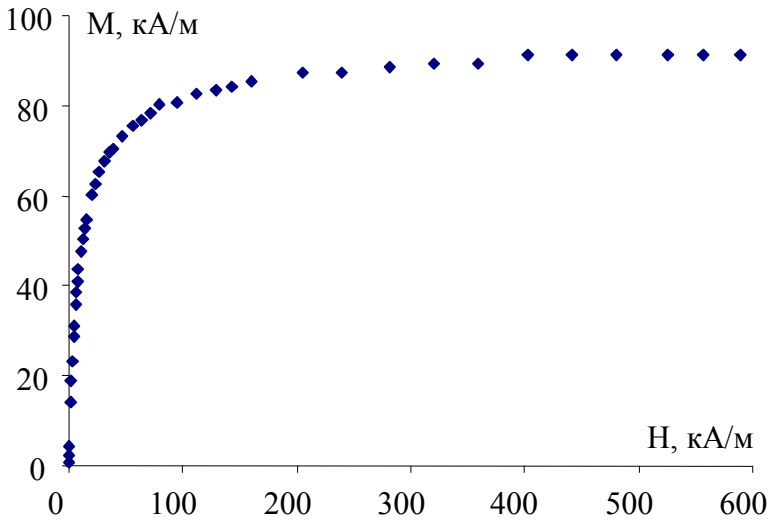



Рис. 2

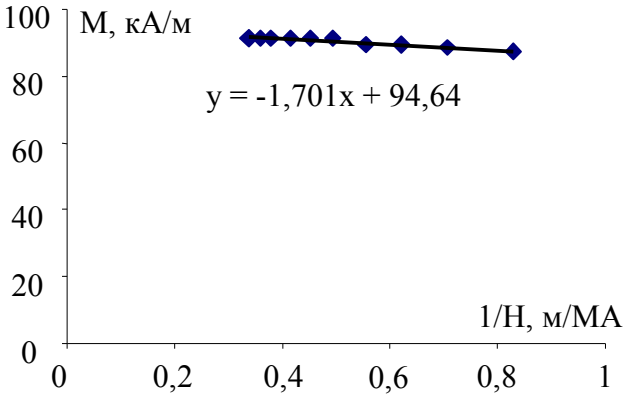



Рис. 3

Вычисление оценочных значений магнитных моментов крупных и мелких феррочастиц производилось на основе теории Ланжевена для монодисперсного магнитного коллоида:

$$m_{*max} = \frac{3k_0T\chi}{\mu_0 M_s}, \quad (1)$$

$$m_{*min} = \frac{k_0TM_s}{\mu_0 tg\alpha}, \quad (2)$$

где $k_0$ – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; $\mu_0$ – магнитная постоянная; $tg\alpha = 1701$ – угловой коэффициент прямолинейного участка кривой $M(H^{-1})$ при $H \to \infty$.

В предположении, что наночастицы магнетита имеют шарообразную форму и намагничены до насыщения, можно определить их диаметр из отношения:

$$m_* = M_{s0}V_m = \frac{\pi}{6} \cdot M_{s0}d^3, \quad (3)$$

откуда

$$d = \sqrt[3]{\frac{m_* \cdot 6}{\pi \cdot M_{S0}}}, \quad (4)$$

где $M_{S0}$ – намагниченность насыщения магнетита, равная 480 кА/м.

Таким образом, рассчитанные магнитогранулометрическим способом оценочные значения магнитных моментов и диаметров крупных и мелких частиц МЖ составляют $m_{*min} = 1{,}85 \cdot 10^{-19}\,А \cdot м^2$, $m_{*max} = 7{,}53 \cdot 10^{-19}\,А \cdot м^2$, $d_{*min} = 9.03 \cdot 10^{-9}\,м$, $d_{*max} = 14{,}4 \cdot 10^{-9}\,м$.

Определение магнитных и геометрических параметров наночастиц МЖ акустогранулометрическим методом проводилось на основе результатов измерений полевой зависимости относительной амплитуды ЭДС, возникающей за счет акустомагнитного эффекта (АМЭ). Под АМЭ понимается излучение электромагнитных волн, сопровождающее распространение звуковых колебаний в намагниченной МЖ [1].

Блок-схема экспериментальной установки представлена на рисунке 5, при этом введены следующие обозначения: 1 – осциллограф, 2 – компьютер, 3 – ана-

лого-цифровой преобразователь (АЦП), 4 – усилитель, 5 – температурный датчик, 6 – электромагнит, 7 – трубка с МЖ, 8 – измерительная катушка, 9 – термостат, 10 – датчик холла, 11 – акустическая ячейка, 12 – пьезопластинка, 13 – тесламетр, 14 – источник тока, 15 – генератор звуковых колебаний, 16 – вольтметр, 17 –частотомер, 18 – силиконовые трубки, 19 – электронасос, 20 – электропитание насоса, 21 – дистиллированная вода, 22 – нагревательный элемент, 23 – емкость для воды, 24 – катетометр.

Методика получения экспериментальных данных и описание их последующей обработки в среде MS Excel подробно описаны в [7].

Зависимости относительной амплитуды ЭДС, наводимой в катушке индуктивности за счет АМЭ, от величины напряженности поперечного к трубке с МЖ внутреннего магнитного поля β(H) получены на частотах 34, 42, 44, 54 кГц. В графическом виде эти данные представлены на рисунке 6.

Значения размагничивающего фактора $N_d$ [3], используемые в расчетах, в порядке возрастания частот составляют, соответственно, 0.23, 0.20, 0.19, 0.17.

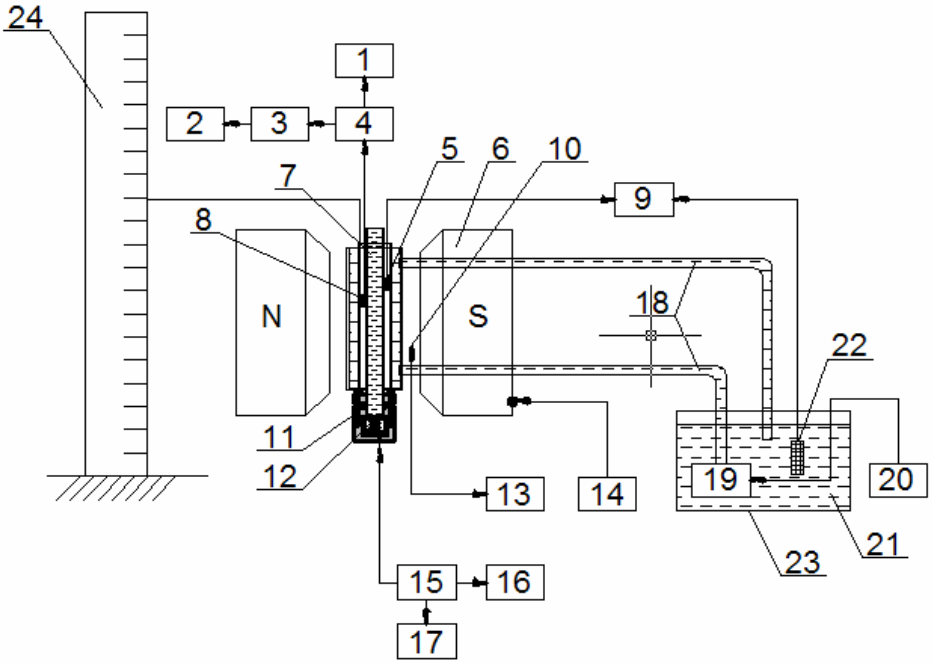



Рис. 4

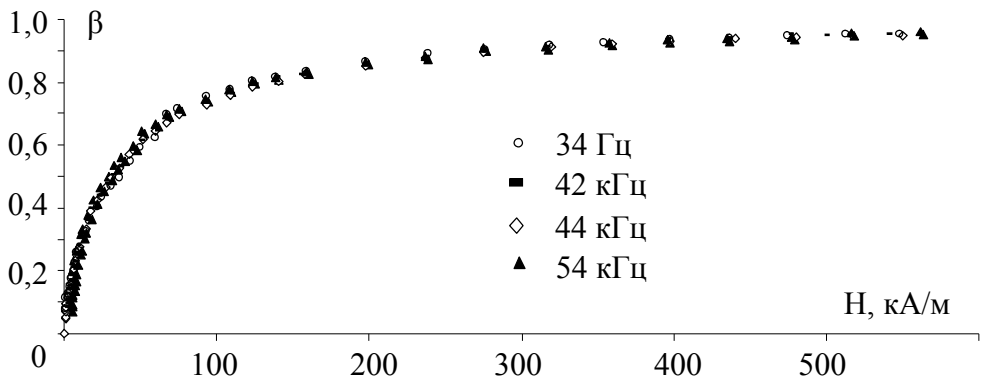



Рис. 5

Методика определения величин магнитных моментов частиц МЖ по полевой зависимости относительной амплитуды ЭДС, индуцируемой за счет АМЭ, основана на концепции суперпарамагнетизма МЖ и подробно изложена в [3].

Аппроксимация зависимости относительной амплитуды индуцируемой ЭДС от напряженности магнитного поля на начальном участке и в области магнитного насыщения позволяют оценить магнитные моменты "крупных" $m_{*max}$ и "мелких" $m_{*min}$ частиц [8]:

$$m'_{*max} \approx \frac{3k_0 T \cdot tg\theta}{\mu_0 (1 - k' - N_d \varphi_M M_{S0} \cdot tg\theta)}, \quad (5)$$

где $k' = qc^2 C_p^{-1}$, $\theta$ - угол наклона начального участка зависимости $\beta(H)$,

$$m'_{*min} = \frac{(1+k')k_0 T}{\mu_0} \cdot ctg\psi, \quad (6)$$

где $\psi$ - угол наклона участка кривой $\beta(H^{-1})$ при $H \to \infty$.

В результате расчета были получены следующие результаты (по частотам):

44 кГц, $m'_{*min} = 1,52 \cdot 10^{-19}$ А·м$^2$,

$m'_{*max} = 1,39 \cdot 10^{-18}$ А·м$^2$,

$d'_{*min} = 8,45 \cdot 10^{-9}$ м,

$d'_{*max} = 17,7 \cdot 10^{-9}$ м.

42 кГц, $m'_{*min} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ А·м$^2$,

$m'_{*max} = 1,69 \cdot 10^{-18}$ А·м$^2$,

$d'_{*min} = 8,6 \cdot 10^{-9}$ м,

$d'_{*max} = 18,9 \cdot 10^{-9}$ м.

34 кГц, $m'_{*min} = 1,64 \cdot 10^{-19}$ А·м$^2$,

$m'_{*max} = 1,63 \cdot 10^{-18}$ А·м$^2$,

$d'_{*min} = 8,67 \cdot 10^{-9}$ м,

$d'_{*max} = 18,7 \cdot 10^{-9}$ м.

54 кГц, $m'_{*min} = 1,63 \cdot 10^{-19}$ А·м$^2$,

$m'_{*max} = 1,45 \cdot 10^{-18}$ А·м$^2$,

$d'_{*min} = 8,67 \cdot 10^{-9}$ м,

$d'_{*max} = 18,0 \cdot 10^{-9}$ м.

Полученные на основе акустогранулометрии значения физических параметров диспергированных в МЖ магнитных наночастиц $m'_*$ и $d'_*$ в оценочном плане согласуются с данными, полученными по методике магнитогранулометрии, основанной на измерении кривой намагничивания магнитного коллоида. Вместе с тем, обращает на себя внимание некоторое различие в численных значениях этих параметров. Указанное различие, возможно, связано с недостаточно корректным расчетом динамического размагничивающего фактора $N_d$. Кроме того, в соотношениях для $m'_{*max}$ и $m'_{*min}$ имеется в качестве слагаемого параметр $k' = qc^2 C_p^{-1}$, значение которого желательно получить путем прямых измерений входящих в него величин. По имеющимся справочным данным табличные значения коэффициента теплового расширения q и теплоемкости $C_p$ для керосина в зависимости от технологии получения значительно различаются.

Очевидно, представленные значения физических параметров магнитных наночастиц носят не только оценочный, но и условный характер, поскольку в МЖ присутствуют частицы разных размеров, а также их агрегаты, что не учитывается предложенной моделью. Поэтому очередной целью акустогранулометрии является нахождение распределения магнитных наночастиц, диспергированных в реальных МЖ, по размерам и магнитным моментам.

*Исследования выполнены при поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы (ГК № 14.740.11.1160).*

**Список литературы**

1. Полунин В.М. Акустические эффекты в магнитных жидкостях. М: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 208 с.

2. Pshenichnikov A.F., Mekhonoshin V.V., Lebedev A.V. Magneto-granulometric analysis of concentrated ferrocolloids // J. Magn. Magn. Mater. 1996. Vol. 161. P. 94-162.

3. On the estimation of physical parameters of magnetic nanoparticles in mag-

netic fluid / V.M. Polunin, N.S. Kobelev, A.M. Storozhenko [et al.] // Magnetohydrodynamics. 2010. V. 46. № 1. P. 31-40.

4. www.chem.msu.su [Электронный ресурс] : Электронная библиотека химического факультета МГУ.

5. Николаев В.И., Шипилин А.М. О тепловом расширении наночастиц / В.И. Николаев, // ФТТ. 2000. Т. 42. Вып. 1. С. 109-110.

6. Волькенштейн, В.С. Сборник задач по общему курсу физики: учеб. пособие. 11-е изд., перераб. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985.

7. Акустометрия нанодисперсной фазы магнитной жидкости / В.М. Полунин, А.М. Стороженко, П.А. Ряполов [и др.] // Нанотехника. 2011. № 2(26). С. 64 -69.

9. Об оценке физических параметров магнитных наночастиц / С.Г.Емельянов, В.М.Полунин, П.А.Ряполов [и др.] // Акуст. журн. 2010. Т. 56. №3. С. 316–322.

*Получено 19.06.12*

**V.M. Polunin,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: polunin-vm1@yandex.ru)

**A.M. Storozhenko,** Candidate of Sciences, Southwest State University (Kursk) (e-mail: storogenko_s@mail.ru)

**A.O. Tantsyura,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)

**MAGNITOGRANULOMETRIC AND AKUSTOGRANULOMETRIC ANALYSIS OF NANODISPERSED PHASE OF THE HIGHLY CONCENTRATED MAGNETIC FLUID**

*The paper presents the results of the calculation of limit values of the magnetic fluid nanoparticles diameter and the magnetic moment. The concentration of solid fraction in the sample is 25.6%. The study was conducted in two ways: acoustic and based on the magnetization curve. The results are compared with each other.*

***Key words:*** *magnetic fluid, nanoparticles, granulometric analysis, the magnetization curve, the acoustomagnetic effect.*

---

УДК 532:537.311.32

**А.Е. Кузько,** канд. физ.-мат. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kuzko@mail.ru)

**А.В. Кузько,** канд. физ.-мат. наук**,** ст. преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: avkuzko@mail.ru)

**В.А. Харсеев,** аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)

**РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЭЛЕКТРОКОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА**

*В работе приводятся сведения по исследованию электроконвективного теплообмена в системе электродов в виде проволочек с разнесёнными термостатируемыми пластинами, на которые не подаются электрические потенциалы. Температура термостатируемых пластин определяется разработанным для изучения электроконвективного теплообмена ИК-измерителем температуры. В качестве теплоносителя используется полиметилсилоксановая жидкость ПМС-50. Получен коэффициент усиления теплоотдачи ~4 раз.*

***Ключевые слова:*** *теплообмен, электроконвекция, инжекция зарядов, наноструктуры, коэффициент теплоотдачи, топография поверхности.*

Применение электрических полей в качестве активного метода интенсификации различных физико-химических процессов в современных производствах в настоящее время является одним из перспективных направлений эффективного управления электроконвективным тепло-, массообменом в химических производствах, космической технике, немеханических переключателях, устройствах автоматики и др. Увеличение числа Нуссельта по теоретическим оценкам и экспериментам при электроконвекции (ЭК) возможно до пятнадцати раз [1, 2, 3]. Системы проволочных или сеточных электродов обладают по сравнению с игольча-

тыми большими расходными характеристиками, так же позволяют легко реализовать важный для практики случай теплопереноса теплоносителем за область распределения рабочего электрического поля. Таким образом, термостатируемые поверхности могут быть электрически изолированы от высоковольтной части самой диэлектрической жидкостью. Это важно, как с точки зрения электробезопасности, так и для термостатирования электронных схем.

Для исследования электроконвективного теплообмена разработана усовершенствованная по сравнению с [3] измерительная ячейка (рис. 1), где измерение температуры осуществляется ИК-датчиками 3. Так как установка находится под высоким напряжением, то измерение температуры при помощи распространенных датчиков (термопары, терморезисторы) является затруднительным. Измерение температуры может осуществляться бесконтактно, при помощи инфракрасной термометрии. Регистрация температуры производится на жидкокристаллическом дисплее регистратора 4, подключённого к USB-порту ЭВМ. Такое измерение температуры, во-первых, позволяет определять температуру на термостатируемых поверхностях и в том случае, когда они являются электродами, к которым приложен высоковольтный потенциал, во-вторых, данные могут программно вноситься в ЭВМ, что значительно ускоряет процесс обработки результатов экспериментальных исследований, в-третьих исключается погрешность измерений связанная с неизбежной теплоёмкостью других измерителей температуры и проблемой их теплового контакта. В качестве имитатора нагретой поверхности для отбора тепла используется нагревательный элемент 4 с источником регулируемого постоянного напряжения. Для изучения ЭК-теплообмена в замкнутом гидравлическом контуре, с целью вывода тепла нагретой рабочей жидкостью, в ячейке предусмотрено подключение посредством патрубков к внешнему насосу, с небольшим напорным давлением и другому теплообменному устройству. Разработанный ИК-термометр измеряет температуру в 4-х (возможно и более) зонах. В устройстве использованы ИК-датчики температуры MLX 90614ESF-ACC фирмы Melexis. Основные характеристики датчика: напряжение питания – 5В; потребляемый ток, не более: 2мА; рабочая температура – 40…+125$^{O}$C; измеряемая температура: – 70…+380$^{O}$C; угол обзора (Field of view): 35$^{O}$; погрешность измерения в диапазоне 0…+50$^{O}$C: ±0,5$^{O}$C; программируемый коэффициент теплового излучения: 0,1…1,0.

Устройство собрано на 8–разрядном микроконтроллере RISK-архитектуры AVR фирмы Atmel. Результаты измерений отображаются на графическом дисплее MT6464B-2FLG фирмы МЭЛТ в виде таблицы. Так же термометр имеет возможность связи с ПК посредством USB-UART моста FT232RL. Для обмена данными используется измененный протокол WAKE.

Датчик температуры позволяет задавать коэффициент теплового излучения материала объекта, температуру которого необходимо измерить.

Усовершенствованная ячейка для изучения электроконвективного теплообмена с установленными ИК-датчиками на границе металл-диэлектрическая жидкость представлена на рисунке 2,а. Обозначения 1 и 4 соответствуют ИК-датчикам определяющим температуру соответственно нагревающегося электрода (охлаждаемой ЭК-теплообменом поверхности и имитирующего элемент рассеиваемой мощности) и электрода с температурой жидкости, показывающей эффективность теплообмена. Нагрев электрода до определённой температуры производиться регулируемым постоянным электрическим током нагревательного элемента 3.

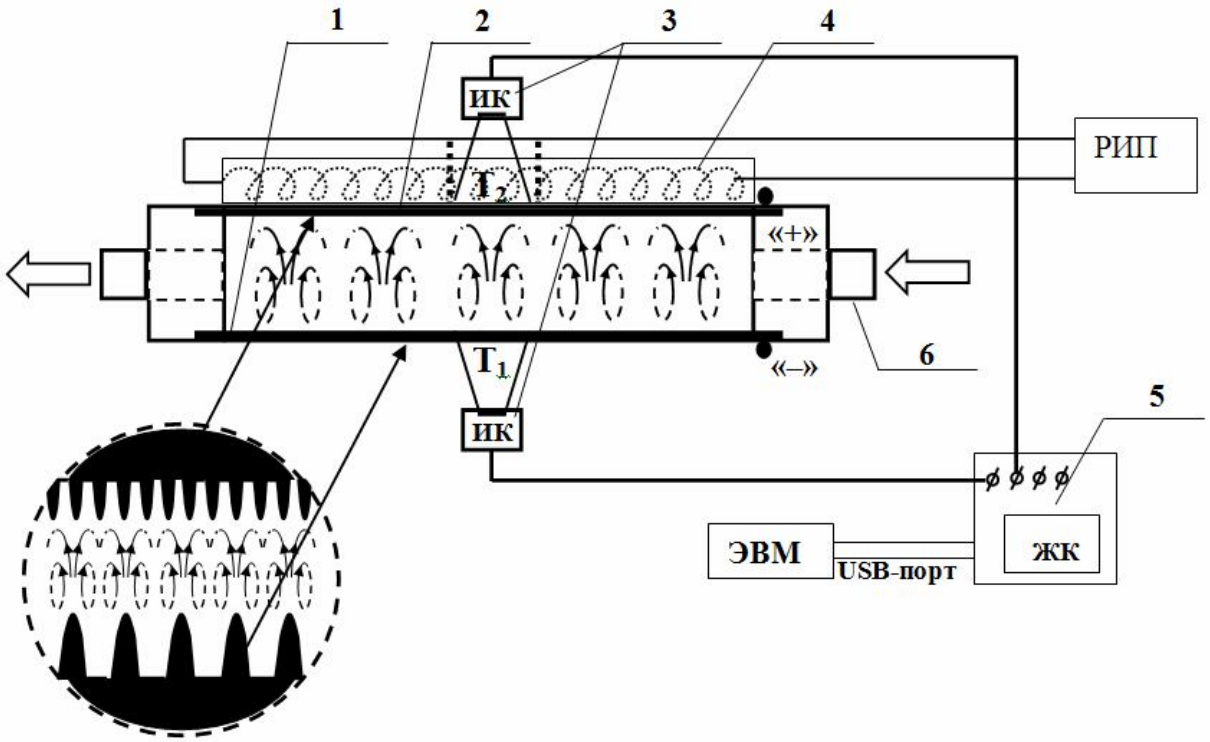
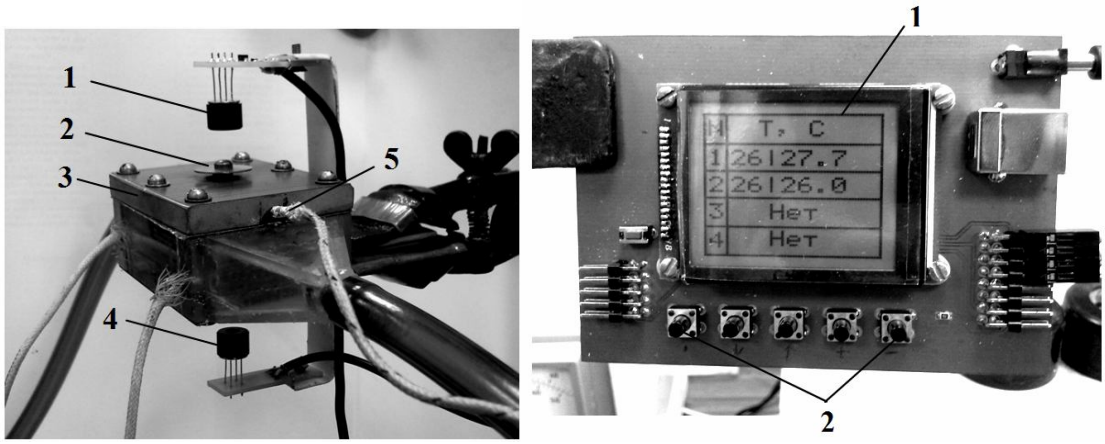



Рис. 1. Схема ячейки для изучения электроконвективного теплообмена на межфазной границе металл - жидкий диэлектрик: 1 – катод; 2 – анод; 3 – ИК-датчики; 4 – нагре-вательный элемент с источником регулируемого питания, 5 – регистратор температуры с ЭВМ, 6 – патрубок подключения ячейки к внешнему гидравлическому контуру




а) б)

Рис. 2. а – измерительная ячейка для изучения электроконвективного теплообмена с ИК-датчиками; б – регистрационный блок измерителя температуры

Температура этого электрода определяется ИК-датчиком 1 на закопченной выносной медной пластине 2, находящейся с электродом в тесном тепловом контакте (за счёт пайки).

Для увеличения коэффициента теплового излучения медная пластина покрывалась чёрной паяльной маской. Контроль и калибровка показаний ИК-датчиков в режиме без высоковольтного напряжения производилась термопарой. Если коэффициент теплового излучения не известен, то калибровку производят следующим образом (при выполнении

данной процедуры должен быть установлен коэффициент излучения ε = 1): 1) нагревают объект до температуры не менее чем на 30 градусов выше комнатной; 2) считывают значения $T_a$ и $T_o$; 3) вычисляют значение коэффициента излучения по формуле

$$\varepsilon = \frac{T_{0\,new}^4 - T_{a\,new}^4}{T_{0\,real}^4 - T_{a\,real}^4},$$

где $T_{o_new}$ и $T_{a_new}$ – температуры объекта и окружающей среды, измеренные датчиком; $T_{o_real}$ и $T_{a_real}$ – температуры, измеренные другим термометром (термопарой) в градусах К; 4) программируют новое значение коэффициента излучения.

Регистрационный блок представлен на рисунке 2 б). Позиция 1 соответствует ЖК-индикатору с показаниями двух подключённых датчиков. Первые цифры температуры самих датчиков. Данный датчик MLX 90614ESF-ACC не учитывает при измерениях собственный нагрев. На позиции 2 обозначены ручки управления установкой коэффициентов теплового излучения поверхностей, на которых определяется температура, и управление режимами измерений и вывода значений на индикатор.

Тестирование установки производилось в тот момент, когда нагреваемый электрод находился в верхнем положении. Данное расположение грубо имитировало состояние невесомости, где отсутствуют гравитационные конвекционные потоки.

На рисунке 3 показаны экспериментальные зависимости температур электродов, определяемых ИК-датчиками от времени. Температура верхнего электрода поддерживалась постоянной ~80 $^0$ С. Токовый нагрев до нужной температуры, благодаря высокой теплопроводности меди и её малой теплоёмкости, производился за время порядка 1 минуты. На графиках время этого нагрева не учитывалось. Графики 1 и 2 соответственно показывают ход изменения температуры нагреваемой поверхности без подачи высоковольтной разности потенциалов на электроды и с подачей высоковольтного напряжения U = 15 кВ.

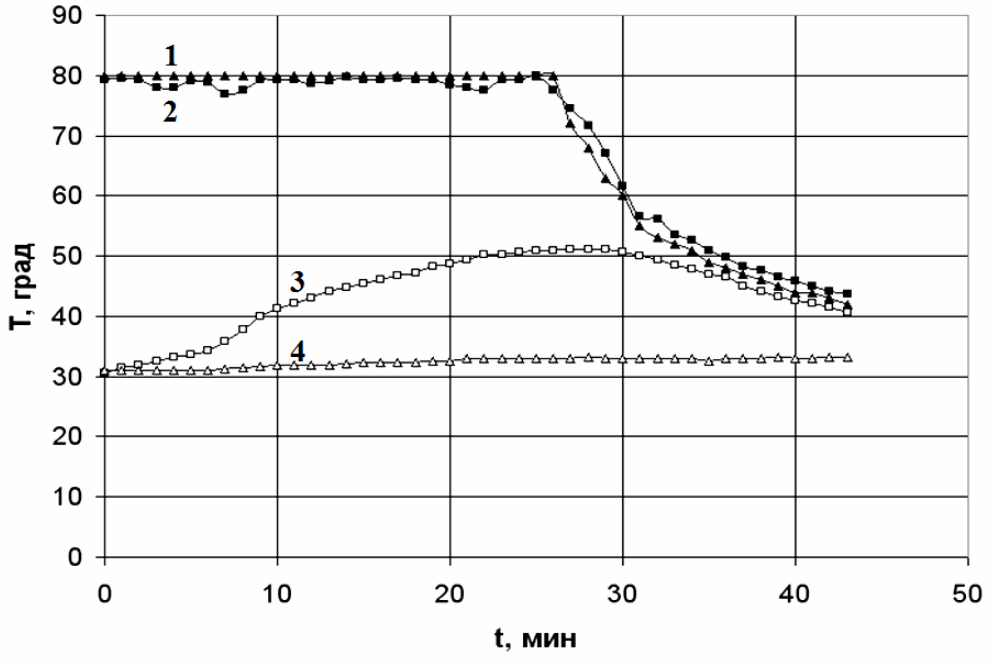



Рис. 3. Экспериментальные зависимости температуры электродов от времени при тестировании измерительной ячейки по ЭК-теплообмену с ИК-датчиками

Соответственно графики 4 и 3 показывают температуру жидкости, по которой и оценивается эффективность теплоотдачи при ЭК. Посчитав для ПМС коэффициент теплопроводности равным $\lambda$ = 0,16 Вт/(м·К), расстояние между пластинами h = 25 мм, а коэффициент теплового излучения медной пластины, покрытой паяльной маской, и определённый при калибровке с термопарой $a_T$ = 0,7, получим по методике [3]. Откуда значение усиления ЭК-теплообмена при напряжении 15 кВ

$$\frac{\alpha_E}{\alpha}=\frac{(T_2-T_1)}{(T_2-T_1')}\cdot\frac{\alpha_1(T_1'-T_0)+a_T\sigma(T_1'^4-T_0^4)}{\alpha_1(T_1-T_0)+a_T\sigma(T_1^4-T_0^4)}\cong 4,$$

где $\alpha_1$ – коэффициент теплоотдачи между окружающей средой и нижней пластиной; $T_0$ – температура среды; $a_T$ – коэффициент теплового излучения нижней пластины; $T_1$, $T_1'$ – температуры нижней пластины без электрического поля и с ним, $T_2$ – температура верхней пластины.

В отсутствие внешней и внутренней гравитационной конвекции в условиях невесомости электроконвективное усиление теплообмена следует ожидать ещё более эффективным.

Приведенные графики тестирования ячейки для исследования теплообмена с ИК-датчиками, по сравнению с аналогичными зависимостями и при том же самом высоковольтном напряжении U = 15 кВ, приведенные в [3], показывают эффективность определения параметров теплообмена на созданной установке. Измеритель температуры показывает более точные значения (до десятых), он менее инерционен к изменению температуры, более просто устанавливается тепловой контакт (не нужно теплопроводящих кремнийорганических паст), безопасен при измерениях температуры поверхностей под высоким потенциалом (пробои в ячейке не влияют на измерения).

*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (ГК П913).*

**Список литературы**

1. Болога М.К., Гросу Ф.П., Кожухарь И.А. Электроконвекция и теплообмен. Кишинев: изд-во «Штиинца», 1977. С. 320.

2. Кожевников И.В. Теплообмен в замкнутых циркуляционных контурах под воздействием электрического поля: дис. ... канд. техн. наук. Кишинев. 1993. С. 207.

3. Study of the Transient Processes and the Effect of the Electrode's Surface Structure on the Heat Transfer in a Wire EHD Heat Exchanger/ A.I. Zhakin, A.E. Kuz`ko, P.A. Belov, A.N. Lazarev// Surface Engineering and Applird Electrochemistry. 2011. Vol. 47, №.3. P. 242. 247.

*Получено 29.05.12*

**A.E. Kuzko,** Candidate of Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: kuzko@mail.ru)

**A.V. Kuzko,** Candidate of Sciences, Senior Lecturer**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail:avkuzko@mail.ru)

**V.A. Harzeev,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)

**DEVELOPMENT AND TESTING OF EQUIPMENT FOR RESEARCH OF ELECTROCONVECTIVE HEAT EXCHANGE**

*In work data for research of electroconvective heat exchange are given in system of electrodes in the form of wires with spaced plates which are not applied electrical potentials. The temperature of thermostated plates is defined developed for research of electroconvective heat exchange infra-red measuring instrument of temperature. Polymethylsiloxane liquid PMS-50 is used as the heat-carrier. The strengthening coefficient of heat transfer ~4 times is received.*

***Key words:*** *heat exchange, electroconvection, injection of charges, nanostructures, heat transfer coefficient, surface topography.*

УДК 537.611.45

**А.А. Родионов,** д-р физ.-мат. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: raa41@inbox.ru)

**Л.П. Петрова,** канд. физ.-мат. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: petrovalp@inbox.ru)

**Н.М. Игнатенко,** д-р физ.-мат. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: inmksty@bk.ru)

**В.Н. Бурмистров,** канд. физ.-мат. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)

# О ВНУТРЕННЕМ ТРЕНИИ В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ В ОБЛАСТИ ЛИНЕЙНОГО ОТКЛИКА

*Найдены выражения для внутреннего трения и коэффициента поглощения волны напряжений на примере тригонального кристалла $FeCO_3$. Показано, что внутреннее трение в антиферромагнетике является амплитудозависимой величиной в области линейного отклика. Оказалось, что оно зависит и от сопровождающего постоянного поля $\vec{H}(\gamma_i)$ и от направления его измерения вдоль r ($\beta_i$).*

***Ключевые слова:*** *антиферромагнетик, внутреннее трение, коэффициент поглощения, магнитострикция.*

***

В антиферромагнетиках, как известно, существует две подрешетки с равными по модулю и противоположными по направлению векторами спонтанной намагниченности $\vec{M}_1$ и $\vec{M}_2$. Т. е. при отсутствии магнитного поля $\vec{H}(\gamma_i)$ антиферромагнитный вектор $\vec{L} = \vec{M}_1 - \vec{M}_2$, например, в тригональных кристаллах $FeCO_3$ направлен вдоль "легкого" направления z // [001], а намагниченность $\vec{I} = \vec{M}_1 + \vec{M}_2 = 0$. С учетом симметрии этого кристалла его термодинамический потенциал по [1] имеет вид:

$$\Phi = \Phi_0 + AL^2 + BL^4 + D\left(\vec{H}\vec{L}\right)^2 + $$
$$+D'H^2L^2 - \frac{1}{2}\chi_p H^2 + $$
$$+\frac{1}{2}\beta\left(L_x^2 + L_y^2\right) - \frac{1}{2}\gamma\left(H_x^2 + H_y^2\right) - $$
$$-\frac{H^2}{8\pi} - \lambda_1\left[\left(\sigma_{xx} - \sigma_{yy}\right)H_x - 2\sigma_{xy}H_y\right] - $$
$$-\lambda_2\left[\sigma_{xz}H_y - \sigma_{yz}H_x\right], \qquad (1)$$

где $\Phi_0$ – потенциал Гиббса, A, B, D, D′ и $\chi_p$ – постоянные, зависящие от температуры и имеющие обменное происхождение. В малых полях (линейный отклик) $\left|\vec{M}_1\right| = \left|\vec{M}_2\right| = M(H)$. При H = 0 наложение упругих внешних воздействий с тензором $\sigma_{ij}$, таким образом, не изменяет ориентацию $\vec{M}_1$ и $\vec{M}_2$ в антиферромагнетике. Однако при $\vec{H} \neq 0$, как видно из (1), за счет магнитоупругой энергии и отклоненных векторов $\vec{M}_1$ и $\vec{M}_2$ от оси [001], упругие напряжения вызывают дополнительные отклонения этих векторов, причем, тем большие, чем сильнее поле $\sigma_{ij}$. Включение поля $\vec{H}(\gamma_i)$ отклоняет $\vec{M}_1$ от оси z на угол $\varphi_1$ в плоскости xz и на $\varphi_2$ в плоскости yz, а вектор $\vec{M}_2$ на углы $\varphi_1'$ и $\varphi_2'$. Разлагая далее Ф по степеням $\varphi_i$, $\varphi_j'$ не выше второй и вводя диссипативные функции $\frac{\beta_в}{2}\left(\dot{\varphi}_1^2 + \dot{\varphi}_2^2\right) = \frac{\beta_в}{2}\left[\left(\dot{\varphi}_1'\right)^2 + \left(\dot{\varphi}_2'\right)^2\right]$, получаем уравнения Лагранжа в виде системы четырех уравнений первого порядка. Однако с учетом того, что $\left|\vec{M}_1\right| = \left|\vec{M}_2\right| = M$, вращательные моменты этих подрешеток создаются ионами железа, вращательные жесткости их одинаковы, а моменты отличаются лишь знаком, в системе останутся лишь два уравнения:

$$\beta_в\dot{\varphi}_1 - 4M^2A\varphi_1 - 32BM^4\varphi_1 +$$
$$+DM^2\left(4H_xH_z - 4H_z^2\varphi_1\right) - 4D'M^2H^2\varphi_1 =$$
$$= M\left(H_x - H_z\varphi_1\right),$$

$$\beta_в\dot{\varphi}_2 - 4M^2A\varphi_2 - 32BM^4\varphi_2 + +DM^2\left(4H_yH_z - 4H_z^2\varphi_2\right) - 4D'M^2H^2\varphi_2 = = M\left(H_y - H_z\varphi_2\right). \quad (2)$$

Для углов $\varphi_1'$, $\varphi_2'$ левые части (2) совпадают, а в правых лишь при $H_z$ знаки меняются на противоположные. Если не рассматривать гармоники, наводимые в (2) слагаемыми $\sim H_z$ в правой части, то в этом приближении $\varphi_1 \approx \varphi_1'$, а $\varphi_2 \approx \varphi_2'$.

Рассмотрим случай, когда приложено постоянное поле $\vec{H}_c(\gamma_{ic})$. Тогда из (2), обозначая коэффициент при $\varphi_1$ через $A_1$, находим $\varphi_{1c} = \frac{MH_{cx}}{A_1}$, а из второго уравнения $\varphi_{2c} = \frac{MH_{cy}}{A_2}$. Включая далее переменное поле $\sigma_{ij} = \sigma_0 \cos\left(\omega t - \frac{\omega r}{\upsilon}\right)\cos\beta_i \cos\beta_j$, получаем добавочные углы отклонений для $\vec{M}_1$ и $\vec{M}_2$, но уже из системы (2), где в левых частях ее будут величины $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$, а в правых, соответственно, вращательные моменты: для угла $\varphi_1$ - его компонента вдоль y-оси, а для угла $\varphi_2$ - проекция его на направление противоположное x. Учитывая, что "магнитоупругие" компоненты векторов намагниченности $I_x = \lambda_1\left(\sigma_{xx} - \sigma_{yy}\right) - \lambda_2\sigma_{yz}$, $I_y = -2\lambda_1\sigma_{xy} + \lambda_2\sigma_{xz}$, $I_z = 0$, подставляя их в правые части (2), окончательно получим:

$$\beta_в\dot{\varphi}_1 + A_1\varphi_1 = MH_X - I_XH_Z = = MH_X - \left[\lambda_1\left(\sigma_{XX} - \sigma_{yy}\right) - \lambda_2\sigma_{yz}\right]H_Z = = MH_X - -[\lambda_1\left(\cos^2\beta_1 - \cos^2\beta_2\right) - -\lambda_2\cos\beta_2\cos\beta_3]\times \quad (3) \times H_z\sigma_0\cos\left(\omega t - \frac{\omega r}{\upsilon}\right) = L_1\sigma(t),$$

$$\beta_в\dot{\varphi}_2 + A_2\varphi_2 = MH_y - I_yH_z = = MH_y + \left[2\lambda_1\sigma_{xy} - \lambda_2\sigma_{xz}\right]H_z = MH_y + +\left[2\lambda_1\cos\beta_1\cos\beta_2 - \lambda_2\cos\beta_1\cos\beta_3\right]\times \times H_z\sigma_0\cos\left(\omega t - \frac{\omega r}{\upsilon}\right) = L_2\sigma(t).$$

Отсюда для волны напряжений, распространяющейся вдоль $\beta_i$ – направления, имеем: $\varphi_1 = \varphi_{10}\cos\left(\omega t - \frac{\omega r}{\upsilon} + \delta_1\right)$, $\varphi_2 = \varphi_{20}\cos\left(\omega t - \frac{\omega r}{\upsilon} + \delta_2\right)$, где из-за $A_1=A_2$ фазовые запаздывания $\delta_1 = \delta_2 = \delta = \operatorname{arctg}\left(-\frac{\beta_в\omega}{A}\right)$, $A_1=A_2 = A_0$, но $L_1 \neq L_2$, а

$$\varphi_{10} = \frac{L_1\sigma_0}{A_0\cos\delta - \beta_в\omega\sin\delta},$$

$$\varphi_{20} = \frac{L_2\sigma_0}{A_0\cos\delta - \beta_в\omega\sin\delta}. \quad (4)$$

Величина $\upsilon$ в (3) соответствует скорости волны напряжений, наведенной внешним полем $\sigma_{ij}$ (t) вдоль направления $\beta_i$ в кристалле.

Для нахождения внутреннего трения и коэффициента поглощения волны напряжений определяем компоненты тензора механострикции из общего соотношения $\varepsilon_{ij}^м = \frac{\partial\Phi}{\partial\sigma_{ij}}$, т.е. $\varepsilon_{11}^м = -\lambda_1H_x$, $\varepsilon_{22}^м = \lambda_1H_x$, $\varepsilon_{33}^м = 0$, $\varepsilon_{xy}^м = 2\lambda_1H_y = \varepsilon_{yx}^м$, $\varepsilon_{13}^м = -\lambda_2H_y$, $\varepsilon_{23}^м = \lambda_2H_x$. При отсутствии H поле $\sigma_{ij}$ не вызывает механострикцию. Однако если включить поле $\sigma_{ij}$ (t), а $H_x$ менять от нуля до $H_x$, то компоненты $\varepsilon_{11}^м$, $\varepsilon_{22}^м$, $\varepsilon_{23}^м$ будут возрастать. При этом поле $H_x$ будет эквивалентно по воздействию на тензоры $\varepsilon_{ij}^м$, полю $\sigma_{ij}$. Все это означает, что записанные выше значения $\varepsilon_{ij}^м$, наведенные полем $\sigma_{ij}$ в присутствии магнитного поля $\vec{H}$, представляют собой их амплитудные значения, соответствующие напряжению $\sigma_0$. Тогда, находя механострикцию

$$\varepsilon_{\text{мех}} = [4\lambda_1 H_y \cos\beta_1 \cos\beta_2 + +2\lambda_2 H_x \cos\beta_2 \cos\beta_3 + +\lambda_1 H_x \left(\cos^2\beta_2 - \cos^2\beta_1\right) - -2\lambda_2 H_y \cos\beta_1 \cos\beta_3]\cos\left(\omega t - \frac{\omega r}{\upsilon} + \delta\right) \quad (5)$$

и подставляя ее в волновое уравнение, с учетом полученных в (4) углов $\varphi_1$ ($t$) и $\varphi_2$ (t), а также поглощения волны напряжений, учитываемого множителем $e^{-\alpha r}$, где $\vec{r} = \vec{r}(\beta_i)$, имеем систему:

$$\sigma_0\left(\alpha^2 - \frac{\omega^2}{\upsilon^2} + \frac{\omega^2}{\upsilon_0^2}\right) = -\rho\omega^2[4\lambda_1 H_y \cos\beta_1 \cos\beta_2 + +2\lambda_2 H_x \cos\beta_2 \cos\beta_3 + +\lambda_1 H_x \left(\cos^2\beta_2 - \cos^2\beta_1\right) - -2\lambda_2 H_y \cos\beta_1 \cos\beta_3]\cos\delta,$$

$$\frac{2\alpha\omega}{\upsilon}\sigma_0 = \rho\omega^2[4\lambda_1 H_y \cos\beta_1 \cos\beta_2 + +2\lambda_2 H_x \cos\beta_2 \cos\beta_3 + +\lambda_1 H_x \left(\cos^2\beta_2 - \cos^2\beta_1\right) - -2\lambda_2 H_y \cos\beta_1 \cos\beta_3]\sin\delta, \quad (6)$$

где $\rho$ – плотность кристалла.

Отсюда по всем известным параметрам антиферромагнетика и заданным внешним воздействиям находим $\alpha$ и $\upsilon$ ($\beta_i$) из системы

$$\sigma_0 \frac{2\alpha}{\upsilon} = \rho\omega\varepsilon_{\text{мех}0} \sin\delta = T,$$

$$\sigma_0\left(\alpha^2 - \frac{\omega^2}{\upsilon^2} + \frac{\omega^2}{\upsilon_0^2}\right) = -\rho\omega^2\varepsilon_{\text{мех}0}\cos\delta = U, \quad (7)$$

где $\varepsilon_{\text{мех}0}$ - амплитудное значение $\varepsilon_{\text{мех}}$ из (5).

Далее имеем:

$$\upsilon^2 = \left[\left(\frac{4\sigma_0^4\omega^4}{T^4\upsilon_0^4} + \frac{4\sigma_0\left(\omega^2\sigma_0 + U\right)}{T^2}\right)^{1/2} - \frac{4\sigma_0^2\omega^2}{T^2\upsilon_0^2}\right] = \upsilon^2\left(H(\gamma_i), \beta_j, \omega\right), \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{T\upsilon}{2\sigma_0} = \alpha\left(\upsilon\left(H_{\gamma_i}\right), \beta_i, \omega\right). \quad (9)$$

Величина внутреннего трения, связанного с переориентациями векторов подрешеток антиферромагнетика $\vec{M}_1$ и $\vec{M}_2$ в поле $\vec{H}(\gamma_i)$ под действием внешнего воздействия с тензором $\sigma_{ij}$ ($t$), равна

$$Q^{-1} = \frac{2\alpha\upsilon}{\omega} = Q^{-1}\left(\upsilon\left(H_{\gamma_i}\right), \beta_j, \omega\right) = \frac{T\upsilon^2}{\sigma_0\omega}. \quad (10)$$

Отсюда

$$Q^{-1}(\sigma_0) = \frac{T}{\omega}\left[\left(\frac{2U}{T^2} - \frac{2\sigma_0\omega^2}{T^2\upsilon_0^2}\right) + \left\{\left(\frac{2U}{T^2} - \frac{2\sigma_0\omega^2}{T^2\upsilon_0^2}\right)^2 + \frac{4\omega^2}{T^2}\right\}^{1/2}\right], \quad (11)$$

$$Q^{-1}(\sigma_0)_{|\sigma_0 \to 0} = \frac{1}{\omega}\left[\frac{2U}{T} + \sqrt{\frac{4U^2}{T^2} + 4\omega^2}\right]. \quad (12)$$

Т. е. внутреннее трение в антиферромагнетике является амплитудозависимой величиной в области линейного отклика. Однако оно зависит и от сопровождающего постоянного поля $\vec{H}(\gamma_i)$, как от его величины, так и от направления, обращаясь в нуль при его отсутствии. Кроме того, как видно из последних соотношений, оно зависит и от направления его измерения вдоль $r$ ($\beta_i$) в кристалле $FeCO_3$. При этом механострикция не зависит от $H_z$ // [001] – легкая ось. Величина $\upsilon_0^2(\beta_i) = E_0(\beta_i)/\rho$, $E_0(\beta_i)$ - модуль Юнга вдоль направления $\vec{r}(\beta_i)$ без учета механострикции. При этом

$$\Delta\left(\frac{1}{E}\right) = \frac{1}{\rho}\left(\frac{1}{\upsilon^2(\beta_i)} - \frac{1}{\upsilon_0^2(\beta_i)}\right), \quad (13)$$

где $\upsilon_0^2(\beta_i)$ определяется через модуль $E_0(\beta_i)$, который в свою очередь можно найти, используя термодинамический потенциал для антиферромагнетика $FeCO_3$ и закон Гука. При расчете $Q^{-1}$, $\alpha$ и $\Delta\left(\frac{1}{E}\right)$ необходимо иметь в виду, что если постоянное поле $\vec{H}(\gamma_i)$ не мало, но не превышает поле анизотропии, то в (2) величины $H_x$, $H_z\varphi_1$ и, соответственно, $H_y$, $H_z\varphi_2$ могут быть соизмеримыми. Тогда в системе (2) необходимо учитывать и нахо-

дить гармоники, которые также дают вклад в рассматриваемые величины, связанные с процессами вращений векторов спонтанной намагниченности подрешеток антиферромагнетика. В области квазилинейности вращательного отклика кристалла зависимости $\varphi_i$ (t) и $\varphi_i'(t)$ видоизменяются, а при "опрокидывании" одной из подрешеток в достаточно больших полях H из-за превращения антиферромагнетика в ферромагнетик ("схлопывание") интересующие нас параметры кристалла скачкообразно изменяются, как и $Q^{-1}$, α, $\Delta\left(\frac{1}{E}\right)$ и пр. величины, характеризующие эффекты, связанные с процессами вращений.

В заключение отметим, что для данного типа антиферромагнетиков с магнитоупругой энергией линейной согласно [1] по компонентам тензора напряжений механострикция при $\sigma = \sigma_0 \cos\omega t$, как видно из (5) от $\sigma_0$ не зависит. При $\sigma \neq 0$ она для $-\frac{\pi}{2} < \omega t < \frac{\pi}{2}$ равна $\varepsilon_{мех\ 0}$ (и нулю при $\omega t = \pm\frac{\pi}{2}$), а для $\frac{\pi}{2} < \omega t < \frac{3\pi}{2}$ $\varepsilon_{мех\ 0} \rightarrow$ - $\varepsilon_{мех\ 0}$. В действительности $\varepsilon_{мех}$ (t) необходимо разложить по Фурье с учетом запаздывания $\varepsilon_{мех}$ относительно σ (t) и ограничиться хотя бы первым членом ряда. Тогда $\varepsilon_{мех0} \rightarrow \frac{4}{\pi}\varepsilon_{мех} = \dot{\varepsilon}_{мех0}$. Однако подобное не целесообразно делать, поскольку представление $\varepsilon_{мех}$ (t) в виде (5) приближенное. Кроме того, соотношения (11) и (12) при ω→0 уже нельзя использовать, так как определение $Q^{-1} = \frac{\alpha}{k}$ (k – волновое число) по (10) здесь становится некорректным. При $\sigma_0 \rightarrow 0$ по (8) υ→0, а по (9) поглощение α→ ∞ (нет волны напряжений). Точно так же по (13) $\Delta\left(\frac{1}{E}\right) \rightarrow$ ∞ при $\sigma_0 \rightarrow 0$, поскольку $\varepsilon_{мех} \neq \varepsilon_{мех}(\sigma_0)$.

**Список литературы**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. Т.8. 624 с.

2. Родионов А.А., Калинина (Родионова) А.А. О смешанной восприимчивости сегнетомагнетиков // Известия вузов. Физика. 2006. № 8. С.51-55.

3. Игнатенко Н.М., Родионова А.А., Родионов А.А. К теории магнитной, электрической и смешанной восприимчивости в магнитоэлектроупорядоченных системах // Известия РАН. Серия физика. 2007. Т.71. № 11. с.1567-1569.

4. Родионов А.А., Игнатенко Н.М., Шпилева А.В. Об аномалиях упругих модулей в сегнетомагнитных кристаллах, связанных со статическим магнитоэлектрическим эффектом // Известия РАН. Серия физика. 2007. Т.70. № 8. С.1105-1108.

**A.A. Rodionov,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: raa41@inbox.ru)

**L.P. Petrova,** Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: petrovalp@inbox.ru)

**N.M. Ignatenko,** Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: inmksty@bk.ru)

**V.N. Burmistrov,** Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)

**ABOUT AN INTERNAL FRICTION IN THE ANTIFERROMAGNETICS IN THE FIELD OF THE LINEAR RESPONSE**

*Expressions for an internal friction and factor of absorption of a wave of pressure on an example of trigonal crystal FeCO3 are found. It is shown that the internal friction in the antiferromagnetics depends on amplitude in the field of the linear response. It has appeared that it depends* $\vec{H}(\gamma_i)$ *and on an accompanying constant field r (βi).*

***Key words:*** *the antiferromagnetic, an internal friction, absorption factor, the mechanostriction.*

# *К сведению авторов*

1. К публикации в «Известиях ЮЗГУ» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Объем статьи не должен превышать 8 страниц печатного текста, включая иллюстрации и таблицы.

3 Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

- статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;
- рекомендацию кафедры или научно-исследовательского отдела учреждения, в котором выполнена данная работа;
- разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа (обязательно для статей по техническим специальностям, по экономическим – по требованию редколлегии);
- сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);
- электронный носитель (CD-диск).

4. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

5. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

6. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

7. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны-2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

8. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (полужирный, прописные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается краткая аннотация курсивом, отражающая краткое содержание статьи.

Например:

> УДК 004.9:519.8
>
> **А.Л. Иванов**, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: ivanov@gmail.com)
>
> **ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ КАДРАМИ ГРАДООБРАЗУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**
>
> В статье рассматривается агентная модель прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия, основанная на структуризации поведения агента и определения влияния его внутреннего представления об окружающем мире на его деятельность.
>
> **Ключевые слова:** агентное моделирование, градообразующее предприятие, событие.

9. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

10. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω, η, β, μ, ω, υ и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций (sin, cos, tg и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

11. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

12. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF,JPEG,PNG) с разрешением не ниже 300 *dpi* и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы**.

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются.**

13. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

14. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 50-48-19, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: **http://www.swsu.ru/izvestiya/index.php.**.